

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LAVADO DE
VEHÍCULOS CON REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA LA EMPRESA
ECOWASH**

**AUTOR:
ANDRÉS MAURICIO PACHACAMA MORALES**

**TUTOR:
EDUARDO RODRIGO TORRES SANTOS**

Quito, febrero del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Andrés Mauricio Pachacama Morales, con número de identificación N° 1719869131, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que soy el autor del trabajo de titulación intitulado “CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LAVADO DE VEHÍCULOS CON REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA LA EMPRESA ECOWASH”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de propiedad intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, febrero del 2018.



Andrés Mauricio Pachacama Morales

C.I. 171986913-1

CARTA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, “CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LAVADO DE VEHÍCULOS CON REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA LA EMPRESA ECOWASH”, realizado por Andrés Mauricio Pachacama Morales, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2018.



Eduardo Rodrigo Torres Santos
C.I. 171365460-4

DEDICATORIA

Esta tesis la quiero dedicar, en primer lugar, a Dios que ha sabido guiarme durante todo el duro y esforzado camino de la carrera y por darme fuerza para no darme por vencido en los momentos difíciles.

A mis padres, Diego Pachacama y Mery Morales, por todo el esfuerzo realizado para que pudiera cumplir mis sueños y terminar mi carrera, por todos sus consejos, paciencia, amor, por enseñarme a ser una persona responsable y a creer en mí, por enseñarme a no rendirme nunca y por ser el motor principal para alcanzar mis metas. A toda mi familia, primos, tíos y demás que han sido una importante parte en mi vida y me han sabido aconsejar y acompañarme en todos mis sueños y anhelos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Cesión de derechos de autor	ii
Carta de coautoría del docente tutor	iii
Índice de contenido	v
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	x
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	xiii
CAPÍTULO 1	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Justificación	2
1.4 Alcance	2
CAPÍTULO 2	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Proceso de lavado de vehículos.....	4
2.2 Fases del proceso de lavado	4
2.3 Reutilización de aguas residuales.....	6
2.4 Métodos de desinfección de aguas residuales	7
2.5 Automatización Industrial	9
2.6 Controlador	9
2.7 Interfaz Hombre-Máquina	12
2.8 Sensor de presencia (fotoeléctricos)	13
2.9 Electroneumática	13
2.10 Motor de Inducción.....	15
2.11 Protección de motores.....	15
2.11.1 Contactor	15
2.11.2 Relé térmico	16
CAPÍTULO 3	17
DISEÑO Y DESARROLLO	17

3.1	Selección de los equipos electrónicos para la automatización del sistema de lavado de vehículos	17
3.2	Sensor de presencia S186e	18
3.3	Controlador	18
3.3.1	PLC DVP60EC00R3.....	19
3.4	Fuente de 24Vdc	20
3.5	HMI Dop-B07e415	20
3.6	Diseño del tablero eléctrico del sistema	21
3.7	Diseño del HMI.....	34
3.7.1	Modo de operación manual	34
3.7.2	Modo de operación automático	35
3.7.3	Pantalla de estado de salidas digitales	36
3.7.4	Pantalla de calibración	37
3.8	Diseño del tablero neumático	37
3.9	Diseño del sistema de reutilización de agua.....	39
3.10	Circuitos eléctricos del sistema de reutilización de agua	41
3.10.1	Circuito de control.....	41
3.10.2	Circuito de fuerza	42
3.11	Diagrama de circulación del agua en el sistema de reutilización.....	44
3.12	Programación del PLC.....	44
3.12.1	Modo de operación manual	45
3.12.2	Modo de operación automático	47
	CAPÍTULO 4	51
	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	51
4.1	Pruebas de funcionamiento.....	51
4.1.1	Pre-enjuague	51
4.1.2	Jabonado	52
4.1.3	Cepillado.....	52
4.1.4	Encerado	53
4.1.5	Secado	53
4.2	Calibración del sistema.....	53
4.3	Pruebas del tiempo de lavado con el sistema automático.....	54
4.4	Análisis de resultados	56
4.5	Sistema de reutilización de agua	57

CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS	61
ANEXOS	0

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Fases del proceso de lavado	4
Figura 2.2. Tarjeta Arduino	10
Figura 2.3. Microcontrolador o PIC	11
Figura 2.4. PLC	12
Figura 2.5. Aplicación de un sensor de presencia en el control de un proceso	13
Figura 2.6. Cilindro de simple efecto	14
Figura 2.7. Partes del cilindro de doble efecto	14
Figura 2.8. Estructura de un motor de inducción.	15
Figura 2.9. Ejemplo de contactor.	16
Figura 3.1. Sensor S186E	18
Figura 3.2. PLC Delta DVP60EC00R3	19
Figura 3.3. Fuente de voltaje	20
Figura 3.4. Hmi DOP-B07E415 utilizada en el sistema	21
Figura 3.5. Contactor LC1-E18.	23
Figura 3.6. Relé térmico LRE07.	25
Figura 3.7. Tablero principal de distribución eléctrica	30
Figura 3.8. Circuito general de control de los motores	30
Figura 3.9. Diagrama de fuerza de motores y bombas.....	31
Figura 3.10. Circuito eléctrico de la fuente de 24 VDC	32
Figura 3.11. Tablero eléctrico del sistema de lavado.	33
Figura 3.12. Pantalla principal del HMI	34
Figura 3.13. Pantalla para la operación manual del sistema	35
Figura 3.14. Pantalla para el modo de operación automático.....	36
Figura 3.15. Pantalla de estado de las salidas del PLC	36
Figura 3.16. Pantalla de calibración para el control de las salidas del PLC	37
Figura 3.17. Tablero neumático del sistema de lavado	38
Figura 3.18. Circuito neumático básico para el control de los pistones	38
Figura 3.19 Circuito eléctrico para el control de las válvulas	39
Figura 3.20. Tanques para el almacenamiento de agua.	39
Figura 3.21. Bomba para la succión del agua en el sistema de reutilización	40
Figura 3.22. Tanques para la filtración del agua del sistema de reutilización.....	40
Figura 3.23. Tablero eléctrico para el control de la bomba de reutilización de agua	41
Figura 3.24. Circuito de control del tablero eléctrico del sistema de reutilización	42

Figura 3.25. Circuito de fuerza de la bomba para el sistema de reutilización	43
Figura 3.26. Tablero para el control de la bomba (parte interior)	43
Figura 3.27. Diagrama de circulación de agua en el sistema de reutilización	44
Figura 3.28. Configuración del botón de encendido del sistema	46
Figura 3.29. Asignación de la marca a uno de los botones del HMI	46
Figura 3.30. Línea de programación principal para el modo de operación manual ...	47
Figura 3.31. Configuración de una entrada numérica de la pantalla de calibración ..	48
Figura 3.32. Línea de programación para el encendido del conveyer	49
Figura 3.33. Línea de programación para el encendido de la bomba.	49
Figura 3.34. Línea de programación para el tiempo de encendido de la bomba.	50
Figura 4.1. Fase de pre-enjuague en el sistema automático implementado.....	51
Figura 4.2. Bomba para la succión de shampoo líquido en la fase de jabonado	52
Figura 4.3. Fase de cepillado en el sistema automático implementado.	52
Figura 4.4. Turbinas para el secado del automóvil.	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Criterios de calidad para la reutilización de aguas según sus usos.....	7
Tabla 2.2. Ventajas y desventajas del Arduino.	10
Tabla 2.3. Ventajas y desventajas del microcontrolador.	11
Tabla 2.4. Ventajas y desventajas del PLC.....	12
Tabla 3.1. Requerimientos principales de la empresa.....	17
Tabla 3.2. Valores comerciales de contactores de la marca Schneider.....	23
Tabla 3.3. Valores comerciales de relés térmicos de la marca Schneider.	24
Tabla 3.4. Cálculo de la potencia total que consume el sistema.	26
Tabla 3.5. Valores comerciales de breakers tripolares de la marca Schneider.....	27
Tabla 3.6. Valores comerciales de breakers unipolares y bipolares.	28
Tabla 3.7. Breakers seleccionados para cada dispositivo de control.	28
Tabla 3.8. Características técnicas de breakers de protección.....	29
Tabla 3.9. Detalle de los elementos del circuito de control de los motores.	31
Tabla 3.10. Detalle de elementos del circuito de fuerza de los motores.....	32
Tabla 3.11. Detalle de elementos del plano eléctrico de la fuente de voltaje.....	33
Tabla 3.12. Detalle de los elementos que intervienen en el circuito de control del sistema de reutilización.....	42
Tabla 3.13. Distribución de entradas y salidas del PLC.	45
Tabla 4.1. Valores de tiempos de encendido y apagado de las salidas del PLC obtenidos en la calibración.	54
Tabla 4.2. Datos de tiempos tomados en empresas que realizan el lavado manualmente.....	55
Tabla 4.3. Datos de tiempos de lavado obtenidos con el sistema de lavado automático.....	55
Tabla 4.4. Tiempos promedio según tipo de carro y tipo de lavado.	56
Tabla 4.5. Porcentajes de mejora en los tiempos de lavado según el tipo de carro y el tipo de lavado.....	56
Tabla 4.6. Resultados de la cantidad de agua reutilizada por el sistema.	58

RESUMEN

El proyecto técnico denominado “CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LAVADO DE VEHÍCULOS CON REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA LA EMPRESA ECOWASH”, tiene como finalidad automatizar el proceso de lavado de vehículos de la empresa para optimizar el tiempo de lavado y desperdiciar la menor cantidad de agua al implementar un sistema de reutilización de agua. La automatización del proceso se lo realizó mediante un PLC y un HMI lo que permite una mejor interacción entre el operador y la máquina facilitando el manejo de la máquina y a su vez agilizando la atención de los clientes. Mediante el PLC se logra que el proceso de lavado se vaya realizando secuencialmente, haciendo así un proceso completamente automático. Se diseña un sistema el cual permite elegir entre tres tipos diferentes de autos y diferentes tipos de lavado los cuales se seleccionan desde el HMI. La calibración del sistema se lo realiza en campo con diferentes tipos de automóviles, tomando tiempos para que la activación de los diferentes dispositivos como son motores, electroválvulas, bombas y demás, se vaya realizando de manera precisa. El sistema de reutilización de agua utiliza un proceso de filtración mediante tanques que en su interior tienen materia porosa la cual separa los sólidos presentes en el agua. El sistema de reutilización consta de una bomba de succión que lleva el agua hacia los tanques de filtración y finalmente a un tanque de almacenamiento de donde se tomará esta agua para un nuevo lavado.

ABSTRACT

The technical project "CONSTRUCTION OF AN AUTOMATIC SYSTEM FOR WASHING VEHICLES WITH WATER REUSE FOR THE COMPANY ECOWASH", aims to automate the process of washing the company's vehicles to optimize the washing time and waste the least amount of water when implementing a water reuse system. The automation of the process was carried out by means of a PLC and an HMI which allows us a better interaction between the operator and the machine, facilitating the handling of the machine and at the same time speeding up the attention of the customers. Through the PLC it is achieved that the washing process is carried out sequentially, thus making a completely automatic process. A system is designed which allows us to choose between three different types of cars and different types of washing which are selected from the HMI. The calibration of the system is carried out in the field with different types of cars, taking time for the activation of different devices such as motors, electrovalves, pumps and others to be carried out accurately. The water reuse system uses a filtration process through tanks that contain porous material inside which separates the solids present in the water. The reuse system consists of a suction pump that carries the water to the filtration tanks and finally to a storage tank.

INTRODUCCIÓN

El lavado de vehículos es un mantenimiento preventivo que se lo realiza al automóvil para evitar daños, es un proceso que tiene varias fases y se lo debe realizar periódicamente dependiendo del uso y lo expuesto a ensuciarse que este el automóvil.

La empresa Ecowash tiene como misión realizar un proceso de lavado que dure la menor cantidad de tiempo posible y que a su vez desperdicie la menor cantidad de agua mejorando así la atención a los clientes.

En el capítulo uno se describe el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y el alcance del proyecto que son la guía para la realización del proyecto.

En el capítulo dos se desarrolla el Marco Teórico que presenta una caracterización de las fases que intervienen en el proceso de lavado que son la base para el diseño del sistema que va a implementarse.

En el capítulo tres se seleccionan todos los dispositivos eléctricos y electrónicos que intervendrán en el nuevo sistema.

Se desarrolla el diseño del software, los circuitos eléctricos, el tablero de control, el HMI, el sistema de reutilización de agua y se realiza el montaje de los dispositivos.

En el capítulo cuatro se realizan las pruebas de funcionamiento del sistema de lavado y del sistema de reutilización de agua para determinar si el sistema cumple con las necesidades de la empresa.

Se comprueba que el tiempo de lavado con el sistema implementado sea menor al tiempo de lavado de manera manual y se contabiliza la cantidad de agua que se logra reutilizar con el sistema implementado.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

El lavado de un automóvil es una actividad que cada vez es menos común realizarla en casa debido sobre todo a factores como es la falta de tiempo.

En los últimos años ha crecido de manera significativa el parque automotor en la Ciudad de Quito aumentando la demanda de lugares en donde la gente pueda lavar su vehículo.

Ecowash es una empresa privada nueva que brinda servicios de limpieza de automóviles. Para brindar un servicio mejorado Ecowash tiene la necesidad de montar un túnel de lavado de vehículos en la Ciudad de Quito en el sector de Carapungo, para satisfacer la necesidad de lavado de autos de la población del sector y destacarse del resto de empresas que proporcionan el mismo servicio.

Con este proyecto se pretende reducir el tiempo de lavado de autos permitiendo incrementar el número de usuarios y a su vez originar mayores réditos económicos a la empresa.

También, con la implementación de un sistema de reutilización de agua se busca ser lo menos perjudicial al medio ambiente procurando desperdiciar la menor cantidad de agua posible y a su vez ahorrando dinero a la empresa.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Diseñar e implementar un sistema automático para el lavado de vehículos automatizado con reutilización de agua para la empresa Ecowash.

1.2.2 Específicos

- Caracterizar el proceso de lavado de vehículos para la empresa Ecowash.
- Diseñar el proceso automático a implementarse para reducir los tiempos de lavado por vehículo.

- Seleccionar e implementar los equipos requeridos para la automatización del proceso.
- Realizar las pruebas y validación del proceso automático implementado.

1.3 Justificación

En la actualidad, las empresas que se dedican al lavado de vehículos lo realizan de manera manual, por lo cual el tiempo necesario para el lavado de un vehículo es alto, con lo cual se atiende un número limitado de clientes al día. Además, estas empresas desperdician mucha agua lo que causa daños al medio ambiente y a su vez este desperdicio se ve reflejado en la planilla mensual de agua.

Para aumentar el número de clientes atendidos por día se requiere reducir los tiempos de lavado por auto. Para lograr reducir los tiempos de lavado se requiere automatizar el proceso de lavado, con la automatización del proceso se desea incrementar el número de clientes atendidos por día ya que el tiempo de lavado por auto será menor.

Para realizar la automatización del proceso de lavado es necesario identificar todas las etapas involucradas en el proceso de lavado de un vehículo y así diseñar un sistema.

Además, al implementar un sistema de reutilización de agua, la empresa desea mostrar su compromiso con el ambiente, lo que a su vez originará ahorro en la planilla de agua mensual ya que la cantidad de agua desperdiciada será menor.

Para implementar un sistema de reutilización de agua es necesario diseñar la manera de almacenar el agua residual y el agua tratada. El sistema de tuberías debe ser un sistema que nos permita la circulación del agua sin complicación u obstrucción alguna.

1.4 Alcance

El presente proyecto tiene como meta el dar una solución al problema de tiempo para realizar el lavado de un automotor mediante el diseño e implementación de un sistema de lavado automatizado, incrementando el número de clientes atendidos por día al reducir el tiempo de lavado por vehículo.

Otro problema que se pretende solucionar con el presente proyecto es reducir la cantidad de agua desperdiciada para el lavado de autos.

El reducir el tiempo empleado para el lavado de un automotor y disminuir la cantidad de agua desperdiciada por lavado producirá a su vez mayores ingresos económicos a la empresa.

El proyecto tendrá un sistema de visualización y operación mediante HMI en el cual se muestra los diferentes tipos de lavado, y se hará la selección del tipo de carro que está ingresando al túnel para ser lavado de entre tres diferentes tamaños estandarizados: pequeño, mediano y grande.

Se pretende mediante el uso de un controlador “PLC” de la marca Delta de la serie DVP EC3, obtener señales de sensores de presencia para detectar el ingreso al túnel de un automóvil y así el proceso de lavado se inicie automáticamente previamente realizada la selección del tipo de vehículo en el HMI.

Mediante el PLC se desea, además, controlar el tiempo de accionamiento de motores, electroválvulas y pistones para que unos rodillos vayan realizando el lavado del vehículo conforme el automóvil es arrastrado por una banda transportadora.

El automatizar el proceso de lavado utilizando un PLC y un HMI, además, nos permite que la operación del sistema sea más fácil, ayudando al operador con la agilización en la atención de los clientes.

Para la parte del sistema de reutilización de agua se pretende construir dos cisternas la una para el agua residual producto del proceso de lavado y la otra para el agua tratada.

Con una bomba de succión se pretende absorber esta agua y conducirla hasta pasar por unos filtros. Estos filtros limpiarán el agua mediante las sedimentaciones que tienen para así obtener agua que puede ser reutilizada en un siguiente lavado y la cual se almacenará en la segunda cisterna.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Proceso de lavado de vehículos

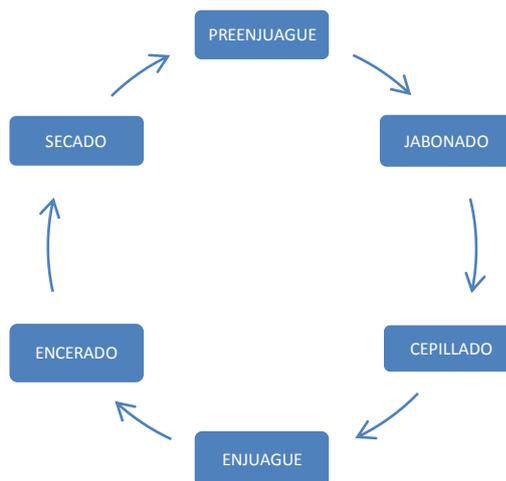
El lavado de vehículos es un proceso que se realiza para el mantenimiento del automotor, en el cual se utilizan una serie de insumos como son agua, jabón y en otros casos cera. La mayoría de personas realiza este proceso de manera manual y otras acuden a lugares especializados en realizar este proceso.

El lavado de un automóvil debe realizarse cada cierto tiempo, aunque esto depende mucho de lo sucio que este o de lo expuesto que este a ensuciarse. Un tiempo estimado para el lavado es una vez al mes, ya que la limpieza del auto no es solo algo estético sino también un mantenimiento preventivo del auto.

De acuerdo a la empresa Ecowash el lavado de un vehículo consta de diferentes fases como son: Pre-enjuague, jabonado, cepillado, enjuague, encerado y secado.

2.2 Fases del proceso de lavado

Figura 2.1. Fases del proceso de lavado



Fases del proceso de lavado, Elaborado por: Andrés Pachacama

En la figura 2.1 se muestra las diferentes fases que intervienen en el proceso de lavado de un automóvil.

2.2.1 Pre-enjuague

Esta es la fase inicial del proceso de lavado de un automotor, en esta fase el carro es rociado por abundante agua en toda la carrocería. En esta fase se debe utilizar gran cantidad de agua porque se tiene que lograr quitar la mayor cantidad de suciedad de la carrocería del automóvil.

2.2.2 Jabonado

En esta fase se procede a aplicar shampoo al auto en su parte exterior, se lo cubre de shampoo por toda el área del vehículo teniendo en cuenta el tipo de shampoo que se va a usar, ya que se debe emplear un shampoo que no dañe la pintura del auto.

2.2.3 Cepillado

En el cepillado lo que se pretende es retirar cantidades de lodo o de suciedad mediante el uso de cepillos, los cuales deben tener cerdas muy suaves que no dañen la pintura del automóvil.

El cepillado se lo realiza en la carrocería del motor y en las llantas, tomando énfasis sobre todo en las llantas ya que es donde más suciedad suele presentarse. El objetivo del cepillado es también distribuir el shampoo por toda la superficie para lograr que el enjabonado tenga un mejor resultado.

2.2.4 Enjuague

En la fase del enjuague, una vez jabonado y cepillado el automóvil, se procede a retirar todo el shampoo de la carrocería del automóvil mediante el uso de abundante agua.

Después del enjuague el auto debe estar completamente limpio, es decir, el lodo y la suciedad de toda la carrocería del motor para luego de esta fase debe estar retirada.

2.2.5 Encerado

Para esta fase el auto ya se encuentra limpio, lo que se hace es cubrir de cera la carrocería del auto de manera uniforme para después con la ayuda de una pulidora o un trapo se procede a sacar brillo al auto.

Una vez se realiza este proceso es muy importante dejar que la cera se seque por unos minutos.

2.2.6 Secado

Esta es la última fase del proceso de lavado de un automóvil, aquí el auto se encuentra completamente limpio y se procede a retirar el agua del chasis del automóvil.

2.3 Reutilización de aguas residuales

La reutilización y reciclado del agua se está haciendo mucho más común a medida que la demanda excede el suministro.

Un sistema de reutilización de agua tiene como fin mejorar la calidad del efluente de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad de las aguas regeneradas.

Para ello, es preciso realizar procesos de depuración avanzados que reduzcan la carga contaminante residual hasta valores admisibles para el uso al que vaya a destinarse el agua producto. (Agua, Energía y Medioambiente Servicios Integrales S.L.U. (AEMA), 2014).

El sistema de tratamiento de aguas residuales a emplearse depende mucho del proceso consecuente en el que va hacer utilizada el agua a tratar, ya que en procesos como el agua potable de consumo humano no es para nada aconsejable hacer un proceso de reutilización.

Si el agua reutilizada va hacer empleada en un proceso Industrial, el sistema de tratamiento dependerá de la calidad y pureza que el agua requiere para dicho proceso consecuente.

En la tabla 2.1 se muestra los criterios de calidad con sus valores máximos que debe tener el agua reutilizada para el uso Industrial.

Tabla 2.1. Criterios de calidad para la reutilización de aguas según sus usos

Valor máximo admisible					
Uso del agua previsto	Nematodos intestinales	Escherichia coli	Sólidos en suspensión	Turbidez	Otros criterios
Usos Industriales					
a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. B) Otros usos industriales.	No se fija límite	10000 UFC/100 ml	35 mg/L	15 UNT	Otros contaminantes contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente.
c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria	1 huevo/10L	10000 UFC/100 ml.	35 mg/L	No se fija límite	Otros contaminantes contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente.
d) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1 huevo/10L	Ausencia UFC/100mL	5 mg/L	1 UNT	Uso exclusivamente Industrial y en localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas ni cerca de lugares con actividad pública.

Criterios de calidad para la reutilización de aguas según sus usos, Fuente: (Osorio Robles & Torres, 2010, págs. 11-22)

2.4 Métodos de desinfección de aguas residuales

2.4.1 Cloración

La utilización del cloro en la desinfección de agua es uno de los métodos más utilizados. Este método consiste en introducir productos clorados en el agua para matar los microorganismos en ella contenidos, normalmente por un tiempo determinado. Se utiliza derivaciones del cloro para realizar las desinfecciones como son: cloro gas, hipoclorito o dióxido de cloro.

Para realizar una desinfección correcta con el cloro se debe tomar en cuenta una serie de variables, como son el tipo de organismos que se quiere eliminar, concentración del desinfectante y tiempo de contacto, pH, temperatura, turbidez, etc. y los valores

máximos de estas variables según el uso que se dará al agua reutilizada, como se muestra en la tabla 2.1.

El tratar con cloro al agua residual nos permite la eliminación de agentes patógenos ya que el cloro causa alteraciones físicas y químicas en la pared de toda célula. (Osorio Robles & Torres, 2010, págs. 17-19)

2.4.2 Ozonización

El ozono es utilizado como agente oxidante para la desinfección de aguas potables. La aplicación de la ozonización se da en aguas potables aunque en la actualidad se la utiliza también para desinfección de aguas residuales. El ozono posee un poder desinfectante mayor que el de los productos basados en cloro.

A pesar de que la ozonización tiene un mayor poder desinfectante también tiene sus desventajas, las cuales son:

- Influencia de la concentración de sólidos en suspensión en la efectividad del proceso.
- Influencia de la concentración de materia orgánica en la resistencia de determinados organismos.
- Formación de subproductos.
- Elevado coste energético. (Osorio Robles & Torres, 2010, págs. 20-21)

2.4.3 Ultravioleta (UV)

Este es uno de los métodos de desinfección más prácticos debido a que es capaz de inactivar bacterias, virus y esporas. Consiste en utilizar el efecto germicida de la luz UV que es capaz de producir daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos de los microorganismos.

Este tipo de sistema de desinfección es muy utilizado en aguas industriales, aunque para aguas residuales que tengan un nivel alto de turbidez y de sólidos suspendidos, el método ultravioleta es ineficaz, el nivel de sólidos suspendidos (SST) en efluentes

secundarios no debe ser mayor a 30 mg/lit para que el método ultravioleta se considere eficaz. (Osorio Robles & Torres, 2010, págs. 22-25)

2.5 Automatización Industrial

La automatización es una parte de la ingeniería que nos permite realizar procesos automáticos mediante el uso de dispositivos electrónicos de control para la optimización de procesos. La optimización de procesos tiene como objetivo reducir costos, tiempo y elevar la productividad de una planta indistintamente del campo de acción de la misma.

La automatización industrial es la utilización de sistemas de control, tales como computadoras o robots, y de tecnologías de la información, para el manejo de procesos y maquinarias en una industria.

La automatización se lleva a cabo mediante el uso de dispositivos electrónicos programables, dentro de los cuales tenemos: PLC, PAC, Arduino entre otros, los cuales nos brindan una serie de herramientas para el control de actuadores y para realizar tareas secuenciales. (Exsol Cia.Ltda, 2017).

Dentro del campo de la automatización Industrial es necesario citar la instrumentación industrial, los sistemas SCADAS, el HMI y los gabinetes o tableros eléctricos.

2.6 Controlador

El controlador es el que nos permite realizar diferentes tipos de acciones de manera secuencial para así controlar uno o varios procesos, además nos permite evaluar entradas como sensores.

Entre los principales controladores tenemos:

2.6.1 Arduino

- Es una placa basada en un microcontrolador, específicamente un ATMEL, en el cual se pueden grabar instrucciones.

- Es una plataforma física computacional open-hardware basada en una sencilla placa con entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales, y en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring.
- Se trata de una placa impresa con todos los componentes necesarios para el funcionamiento del micro y su comunicación con una computadora a través de comunicación serial. (Torres, E; Buchelli, J, 2017).

Figura 2.2. Tarjeta Arduino



Arduino, Fuente: (Gonzales, 2015)

Tabla 2.2. Ventajas y desventajas del Arduino.

Ventajas	Desventajas
Bajo costo.	Potencia baja.
Hardware y Software libre.	Uso de librerías.
Dimensiones pequeñas.	Inestabilidad en comunicaciones.
Compatible con varios shields.	

Ventajas y desventajas del Arduino, Elaborado por: Andrés Pachacama

2.6.2 Microcontrolador

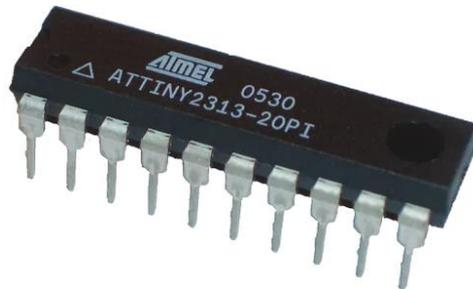
Un microcontrolador es un circuito programable que es capaz de ejecutar el código que se le ha programado. El chip cuenta físicamente con un número de pines, unos configurables y otros con una función predeterminada (como las de alimentación). Las configurables son la mayoría, pudiendo ser establecidas como entradas o salidas.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador.
- Memoria RAM.

- Memoria ROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Generador de pulsos de reloj para sincronización. (Fernandez, 2015).

Figura 2.3. Microcontrolador o PIC



Microcontrolador, Fuente: (Fernandez, 2015)

Tabla 2.3. Ventajas y desventajas del microcontrolador.

Ventajas	Desventajas
Tiene grandes cantidades de memoria	Programación más compleja para realizar comunicaciones.
Costo más bajo	Se necesitan muchas instrucciones para realizar una tarea específica.
Existen varios software de programación	Se necesita otro equipo para ser programado.

Ventajas y desventajas del microcontrolador, Elaborado por: Andrés Pachacama

2.6.3 Controlador lógico programable

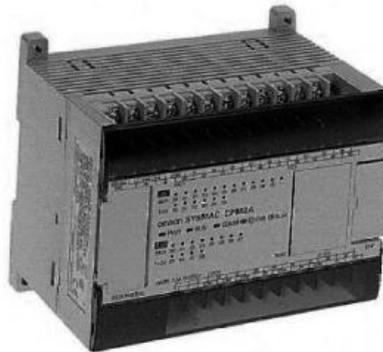
El controlador lógico programable (PLC) es un aparato o dispositivo, creado para controlar procesos automáticos secuenciales en la industria, en tiempo real y lo más rápido posible.

Su campo de aplicación principal es en la industria, aunque también pueden aplicarse en otros campos como por ejemplo la automatización de viviendas y edificios. (Monzón, 2014).

La lógica de programación depende del proceso en el que se vaya a utilizar el PLC y debe permitir trabajar con las señales eléctricas que intervengan en el proceso. (Torres, 2002).

Existe una gran variedad de fabricantes de PLC, entre estos tenemos las marcas: Siemens, Schneider, Delta, Mitsubishi, Allen Bradley, entre otras.

Figura 2.4. PLC



PLC, Fuente: (Monzón, 2014)

Tabla 2.4. Ventajas y desventajas del PLC.

Ventajas	Desventajas
Es más robusto para uso industrial	Costos más elevados
Tiene salidas tipo relé que nos permite trabajar con potencias altas	El proceso se centraliza en el correcto funcionamiento del PLC.
Se integran más fácilmente en una red industrial	

Tabla de ventajas y desventajas del PLC, Elaborado por: Andrés Pachacama

2.7 Interfaz Hombre-Máquina

El Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el dispositivo mediante el cual interactúan el operario y la máquina. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable.

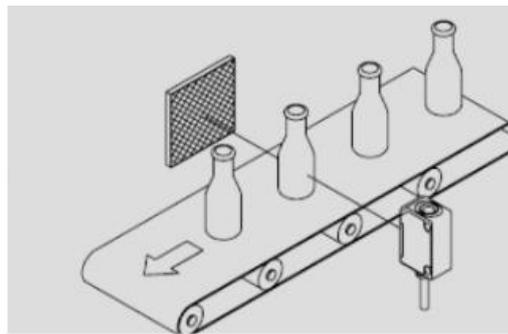
La función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real. Proporcionan gráficos de procesos visuales, datos de variables, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso.

Suministran información operativa al proceso, y permiten el controlar y la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso. (Wonderware Spain, 2017).

2.8 Sensor de presencia (fotoeléctricos)

Un sensor de presencia es un sensor fotoeléctrico que responden al cambio en la intensidad de una luz, permitiendo la activación o desactivación de una señal en función de los valores recibidos de esa luz. Este tipo de sensores requieren de un componente emisor, encargado de generar la luz, y de un componente receptor, responsable de detectar cualquier variación que se produzca en la luz generada. (Contaval S.A, 2016).

Figura 2.5. Aplicación de un sensor de presencia en el control de un proceso



Sensor de presencia, Fuente: (Contaval S.A, 2016)

2.9 Electroneumática

2.9.1 Electroválvula

Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para controlar el flujo (ON-OFF) de un fluido, este control se lo realiza a través de un campo magnético generado por una bobina. Están diseñadas para poder utilizarse con agua, gas, aire, gas combustible, vapor entre otros.

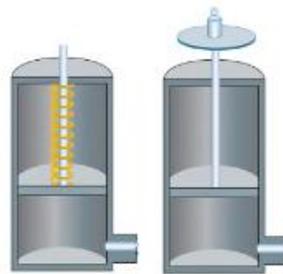
Estas válvulas pueden ser de dos hasta cinco vías. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o pvc. Dependiendo del fluido en el que se vayan a utilizar es el material de la válvula.

Para realizar la apertura y cierre de la electroválvula se necesita un pulso eléctrico que nos permita energizar la bobina. Existen electroválvulas normalmente abiertas (NO) y normalmente cerradas (NC), cada una de estas tiene su propia aplicación. (Matarollo, 2014).

2.9.2 Cilindro de simple efecto

Los cilindros de simple efecto son de diámetros pequeños y carreras cortas, y se suelen emplear para trabajos tales como sujeción, expulsión, alimentación en sistemas automatizados. (Fidalgo, Fernandez, & Fernandez, 2016).

Figura 2.6. Cilindro de simple efecto

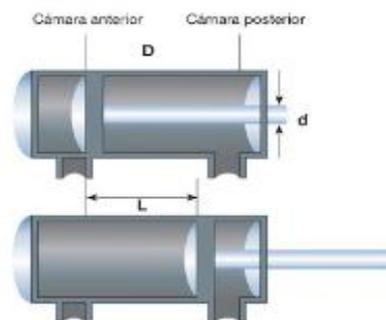


Cilindro de simple efecto, Fuente: (Fidalgo, Fernandez, & Fernandez, 2016)

2.9.3 Cilindro de doble efecto

Los cilindros de doble efecto disponen de dos tomas de aire comprimido situados a ambos lados del embolo. Son los cilindros más utilizados en aplicaciones neumáticas y pueden realizar carrera de trabajo en ambos sentidos del movimiento. (Fidalgo, Fernandez, & Fernandez, 2016).

Figura 2.7. Partes del cilindro de doble efecto



Cilindro de doble efecto, Fuente: (Fidalgo, Fernandez, & Fernandez, 2016)

2.10 Motor de Inducción

El motor de inducción recibe este nombre porque al igual que un transformador, opera bajo el principio de inducción electromagnética. Debido a que este tipo de motores no llega a trabajar nunca a su velocidad síncrona, también se conocen como motores asíncronos. (Harper, 2005).

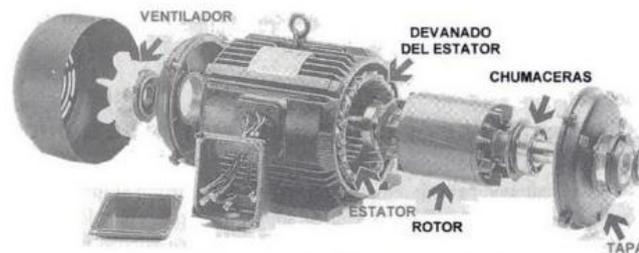
Por el número de fases se clasifican en:

- Monofásicos.
- Bifásicos.
- Trifásicos.

Los motores de inducción trifásicos son los motores más utilizados en la industria. Son simples, resistentes, baratos y fáciles de mantener. Funcionan a velocidad esencialmente constante desde cero hasta plena carga. Un motor de inducción trifásico consta de 2 partes: el estator y el rotor: un estator estacionario y un rotor giratorio. El rotor está separado del estator por un pequeño entrehierro que va de 0.4mm a 4 mm, según la potencia del motor.

La operación de un motor de inducción trifásico está basada en la aplicación de la ley de Faraday y la fuerza de Lorentz en un conductor. (Wildi, 2007).

Figura 2.8. Estructura de un motor de inducción.



Motor de inducción trifásico, Fuente: (Harper, 2005).

2.11 Protección de motores

2.11.1 Contactor

Es un dispositivo electromagnético que puede ser controlado a distancia para cerrar o abrir circuitos de potencia.

Una de las principales aplicaciones del contactor se realiza en el control de circuitos de alimentación de todo tipo de motores eléctricos, pero se puede utilizar también para alimentar otros tipos de receptores como sistemas de resistencias, líneas de luminarias, etc. (Martín & García, 2016).

Figura 2.9. Ejemplo de contactor.



Contactador, Fuente: (Martín & García, 2016).

2.11.2 Relé térmico

Es un dispositivo de protección que reacciona ante sobre intensidades ligeramente superiores a la nominal, asegurando una desconexión en un tiempo lo suficientemente corto para no perjudicar ni a la red ni a los dispositivos conectados a la misma.

Los relés tripolares bimetalicos poseen tres biláminas compuestas cada una por dos metales con coeficientes de dilatación muy diferentes unidos mediante laminación y rodeadas de un bobinado de calentamiento.

Cada bobinado de calentamiento está conectado en serie a una fase del motor. La corriente absorbida por el motor calienta los bobinados, haciendo que las biláminas se deformen en mayor o menor grado según la intensidad de dicha corriente.

Si la corriente absorbida por el receptor supera el valor de reglaje del relé, las biláminas se deformarán lo bastante como para que la pieza a la que están unidas las partes móviles de los contactos se libere del tope de sujeción. (Ávila, 2017).

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y DESARROLLO

En este capítulo se detallan los equipos utilizados para la implementación del sistema de lavado automático que requiere la empresa Ecowash. Además, se explica el diseño mecánico, eléctrico, electrónico y neumático del sistema.

3.1 Selección de los equipos electrónicos para la automatización del sistema de lavado de vehículos

Para la selección de los dispositivos que intervienen en la automatización del sistema se debe tomar en cuenta los requerimientos de la empresa. Los requerimientos principales de la empresa son:

Tabla 3.1. Requerimientos principales de la empresa.

REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA
El sistema a implementar debe garantizar que el lavado de un automóvil sea un proceso que se realice en el menor tiempo posible.
El sistema debe permitir elegir entre tres tipos de lavado.
El sistema nos debe permitir elegir el tipo de carro y escoger entre tres tipos: pequeño, mediano y grande.
El sistema debe abarcar todas las fases del proceso de lavado de un automóvil como son: preenjuague, enjuague, jabonado, cepillado, encerado y secado.
El sistema debe ser comandado por una pantalla táctil (HMI) donde se encontrara toda la información y las opciones del sistema, así como la marcha y paro del proceso.
El sistema debe ser completamente automatizado, el auto debe entrar en el sistema y ser detectado automáticamente.
El requerimiento importante para la empresa es la implementación de un sistema de reutilización de agua.

Requerimientos principales de la empresa, Elaborado por: Andrés Pachacama.

Con los requerimientos de la empresa se procede a realizar la descripción de los dispositivos necesarios para la automatización del proceso.

3.2 Sensor de presencia S186e

Este es un sensor de presencia que trabaja en par, es decir, que existe un emisor y un receptor. El emisor es el encargado de enviar un haz de luz y el receptor la recibe.

Al cortarse este haz de luz por la interrupción de un objeto, el sensor envía una señal de control que se utiliza para arrancar el sistema. (Banner, 2015).

Figura 3.1. Sensor S186E



Sensor de presencia, Fuente (Banner, 2015)

Las características técnicas del sensor son:

- Fabricante: Banner Engineering.
- Tensión de alimentación: 24 VDC
- Rango de detección máxima: 10 m.
- Corriente de salida: 150 mA. (Banner, 2015).

3.3 Controlador

De los diferentes tipos de controladores mencionados en el capítulo 2, se elige para la automatización del sistema un PLC ya que es la opción que mejor se ajusta a las necesidades de la empresa y del sistema.

El PLC permite la operación segura cuando se trabaja con motores y bombas de alta potencia, así como el uso de protecciones y seguridades de los motores. Otro de los principales requerimientos es que el sistema sea comandado por un HMI y debe mantener una comunicación segura con el PLC.

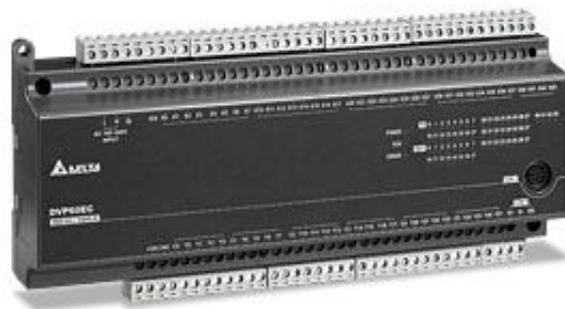
La empresa Ecowash utiliza la marca Delta Electronics para sus sistemas, por lo que el PLC escogido es de este fabricante.

3.3.1 PLC DVP60EC00R3

El PLC DVP60EC00R3 es de la marca Delta (ver Figura 3.2), y las funciones dentro del sistema son:

- Entradas digitales de las señales de los sensores de presencia para el proceso de lavado.
- Programación del proceso de lavado secuencial y la activación de los diferentes dispositivos de acuerdo al tiempo diseñado.
- Salidas digitales para las señales de encendido de los motores, las bombas y los pistones.
- Comunicación mediante el protocolo RS-232 con el HMI para todo el proceso así como la selección de opciones.

Figura 3.2. PLC Delta DVP60EC00R3



PLC, Fuente: (Delta Electronics, Inc., 2017).

Las características técnicas del PLC son:

- Voltaje de alimentación: 100-240 Vac.
- Salidas tipo: relé.
- Máximo número de I/O: 60
- Capacidad de programa: 4Kbps.
- Puertos de comunicación: puertos RS-232 y RS-485 disponibles y compatible con el protocolo de comunicación Modbus ASCII/RTU. (Delta Electronics, Inc., 2017)

3.4 Fuente de 24Vdc

La fuente de 24 VDC la utilizaremos para alimentación de los sensores de presencia y del HMI. Esta fuente se alimenta con un voltaje de 220 Vac y nos entrega 24 Vdc. El modelo que vamos a utilizar es el siguiente:

Es una fuente de 24 V de la marca Schneider como se muestra en la figura 3.3.

Figura 3.3. Fuente de voltaje



Fuente de voltaje, Fuente: (Schneider Electric, 2015)

Las características técnicas de la fuente de 24 Vdc son:

- Voltaje de entrada: 100-240 Vac.
- Frecuencia de trabajo: 47-63 Hz
- Voltaje de salida: 24 Vdc.
- Potencia: 60W
- Corriente máxima de salida: 2.5 A
- Dimensiones: 144x150x38 mm (ancho, largo, profundidad). (Schneider Electric, 2015)

3.5 HMI Dop-B07e415

La interfaz de máquina-humano (HMI) de la serie DOP es una pantalla táctil que soporta gran cantidad de colores. También ofrece funciones de control rápidas y convenientes para máquinas de automatización industrial (ver figura 3.4).

Además, el software de programación DOPSoft Screen Editor, basado en Windows, configura la serie DOP completa.

Con DOPSoft, se puede editar imágenes y gráficos rápidamente y establecer fácilmente un protocolo de comunicación adecuado. (Delta Electronics, Inc., 2017).

Se elige esta pantalla porque se ajusta a las necesidades del proyecto, al presupuesto disponible por la empresa y al protocolo de comunicación que es compatible con el PLC que se va a utilizar.

Otra de las características favorables para la selección de este HMI es el grado de protección IP65 lo que nos permite trabajar sin riesgo a que se dañe debido a la exposición al agua que puede darse al manipularla.

Figura 3.4. Hmi DOP-B07E415 utilizada en el sistema



HMI, Fuente: (Delta Electronics, Inc., 2017)

Las especificaciones técnicas son:

- 7 "(800 x 600 píxeles) TFT LCD 65536 colores
- 3 sistemas de puertos de comunicación, ayuda RS232 / RS422 / RS485.
- Soporta USB Host, conexión directa a disco USB, impresora y mouse.
- La pantalla táctil cumple con IP65.
- Software de edición de PC, DOPSoft es compatible con sistemas operativos: Windows XP, Windows Vista, Windows 7. (Delta Electronics, Inc., 2017)

3.6 Diseño del tablero eléctrico del sistema

Los tableros eléctricos son una parte principal de todo proyecto de automatización. En ellos se encuentran los dispositivos de seguridad y de control de la instalación.

Los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, de control, de maniobra, de protección, de señalización y de distribución. (Quiminet, 2011).

Entre los dispositivos de seguridad y protección están: los breakers, los relés térmicos, etc. También se encuentran los dispositivos de control y de distribución como son: las borneras, los contactores, el PLC, las fuentes de voltaje, etc.

Para el sistema se utiliza un tablero eléctrico que permita concentrar el cableado de los dispositivos eléctricos y electrónicos en un solo espacio físico.

Los elementos eléctricos y electrónicos que van en el tablero se detallan a continuación:

3.6.1 Dimensionamiento del contactor

El dimensionamiento de los contactores a utilizarse, se realiza en función de la corriente nominal que se encuentra en la placa del motor.

Además, se requiere la configuración de conexión del motor (estrella o delta) y con estos datos se dimensiona la capacidad del contactor a utilizar.

Todos los motores a utilizarse en el sistema automático de lavado son trifásicos y están conectados en configuración Delta.

Para el dimensionamiento se calcula con uno de los motores que tiene una corriente nominal de 10.9 A (este dato se encuentra en la placa del motor), a este valor se le debe aumentar el 25% por el arranque, ya que el motor al arrancar consume más corriente. Para este ejemplo se tiene:

$$I = I_{nom} * 1.25 \quad \text{Ec (3.1)}$$

$$I = 10.9 * 1.25$$

$$I = 13.625A$$

Se elije un contactor de capacidad comercial inmediatamente superior al valor calculado. Para esto, revisaremos los valores comerciales de contactores en una tabla de la marca Schneider:

Tabla 3.2. Valores comerciales de contactores de la marca Schneider.

Modelo de contactor	Nº de polos	Corriente (A)
LC1-E09	3	9
LC1-E12	3	12
LC1-E18	3	18
LC1-E25	3	25
LC1-E32	3	32
LC1-E38	4	38
LC1-E40	4	40

Valores comerciales de contactores, Fuente: (Schneider Electric, 2015).

Como se observa en la Tabla 3.2 el modelo del contactor a utilizar es LC1-E18 (ver Figura 3.5), el cual trabaja hasta 18 A, que es un valor de corriente inmediatamente superior al que se calculó.

Figura 3.5. Contactor LC1-E18.



Contactor dimensionado, Fuente: (Schneider Electric, 2015).

Las características técnicas del contactor son:

- Potencia máxima: 4 KW.
- Corriente nominal: 18 A.
- Contactos auxiliares: 1 normalmente cerrado (NC).

- Voltaje nominal de la bobina: 24-440 VAC
- Frecuencia de trabajo: 50-60 Hz. (Schneider Electric, 2015).

3.6.2 Dimensionamiento del relé térmico

La selección del relé térmico requiere el valor de consumo del motor, es decir, el valor de la corriente nominal que se encuentra en la placa del motor.

Con este valor se elige un relé térmico con regulación como mínimo la corriente nominal del motor.

Para la selección de un relé térmico se selecciona de los valores comerciales en una tabla de la marca Schneider.

Por ejemplo, la corriente nominal de uno de los motores de los rodillos es de 2 A. Por lo tanto se elige el relé #7 de la Tabla 3.3, que es el LRE07 con un rango de protección de 1.6 a 2.5 A (ver la Figura 3.6):

Tabla 3.3. Valores comerciales de relés térmicos de la marca Schneider.

ITEM	CODIGO	MARCA	Rango de ajuste de protección (A)
1	LRE01	Schneider	0,1 a 0,16
2	LRE02	Schneider	0,16 a 0,25
3	LRE03	Schneider	0,25 a 0,4
4	LRE04	Schneider	0,4 a 0,63
5	LRE05	Schneider	0,63 a 1
6	LRE06	Schneider	1 a 1,6
7	LRE07	Schneider	1,6 a 2,5
8	LRE08	Schneider	2,5 a 4
9	LRE10	Schneider	4 a 6
10	LRE12	Schneider	5,5 a 8

Fuente: (Schneider Electric, 2015).

Figura 3.6. Relé térmico LRE07.



Relé térmico, Fuente (Schneider Electric, 2015)

Las características técnicas del relé son:

- Rango de ajuste de protección: 1.6 a 2.5 A
- Voltaje de operación: ≤ 690 AC
- Contactos auxiliares: 1 N.O y 1 N.C
- Dimensiones: 45x45x70 mm (alto x ancho x profundidad). (Schneider Electric, 2015).

El proceso de dimensionamiento tanto de contactor como de relé térmico para los demás motores, turbinas y bombas se realiza de la misma manera anteriormente mostrada, los valores de corriente varían de acuerdo a la potencia consumida por cada motor, bomba o turbina.

3.6.3 Dimensionamiento del breaker principal del tablero eléctrico

Los interruptores de corriente o "breakers" son aparatos esenciales para la seguridad de cualquier instalación que utilice un cableado eléctrico. Si hay demasiada corriente eléctrica, estos aparatos simplemente interrumpen el flujo eléctrico hasta que el problema sea solucionado evitando daños al cableado y a las cargas conectadas. (Henriquez, 2013).

El breaker principal del tablero se selecciona tomando en cuenta las potencias de todas las cargas que estarán conectadas al tablero. En el sistema las cargas son: motores, bombas, turbinas, sensores, fuente de voltaje y electroválvulas.

El cálculo de la corriente del breaker se realiza sumando todas las potencias de las cargas. Para esto realizamos una tabla de todas las cargas y sus respectivas potencias.

Tabla 3.4. Cálculo de la potencia total que consume el sistema.

Ítem	Detalle de la carga	Potencia (W)	Número total	Potencia total (W)
1	Motores pequeños	400	12	4800
2	Bombas de agua	5500	2	11000
3	Bomba de cera	370	1	370
4	Bomba de shampoo	370	1	370
5	Bomba para reutilización	600	1	600
6	Turbinas	6000	4	24000
7	Sensores	0,5	3	1,5
8	Electroválvulas	1	8	8
9	Motor de la cadena	2200	1	2200
10	PLC	20	1	20
11	HMI	15	1	15
12	Fuente de voltaje	60	1	60
			TOTAL	43444,5

Cálculo de la potencia total del sistema, Elaborado por: Andrés Pachacama.

En la tabla 3.4, se observa el valor de la potencia total del sistema. El voltaje al que trabajará el sistema es 220V. Con estos datos se calcula la corriente total de la siguiente manera:

$$P = V * I \quad \text{Ec. (3.2)}$$

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$I = \frac{43444.5}{220}$$

$$I = 197.475$$

$$I = 197.475 * 1.25$$

$$I = 246.84375 \text{ [A]}$$

Con el valor de la corriente total que consume el sistema, se procede a buscar un breaker tripolar que trabaje a una corriente superior a la antes calculada. Los valores comerciales de breakers tripolares se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Valores comerciales de breakers tripolares de la marca Schneider.

ITEM	CODIGO	CORRIENTE NOMINAL (A)
1	CVS100NA	100
2	CVS160NA	160
3	CVS250NA	250
4	CVS400NA	400
5	CVS630NA	630

Valores comerciales de breakers tripolares, Fuente: (Schneider Electric, 2015)

Se selecciona el breaker de código CVS250N ya que trabaja hasta 250 A que es un valor inmediatamente mayor al anteriormente calculado.

3.6.4 Dimensionamiento de los breakers para protección de los dispositivos de control

Tanto el PLC, la fuente de 24 Vdc y el HMI deben tener su protección termomagnética individual para evitar daños debido a corrientes elevadas que se pueden dar por variaciones de voltaje o por un cortocircuito.

Cada uno de estos dispositivos necesita un breaker de diferente valor de corriente debido a que el PLC, la fuente de voltaje y el HMI consumen diferente potencia. Para la selección de los breakers se utiliza la potencia que consume cada equipo, este valor se encuentra en las características técnicas.

- Fuente de 24 VDC: P=600 W; V=220V

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{600}{220}$$

$$I = 2.72A$$

Utilizando el mismo cálculo anterior, las corrientes consumidas por el PLC y el HMI son: PLC: 500mA, HMI: 450mA.

Se selecciona un breaker comercial que tenga un valor inmediatamente superior al calculado anteriormente.

Para la fuente el breaker debe ser bipolar porque la alimentación de la fuente es 220 V bifásica; y para el PLC y HMI debe ser unipolar ya que la alimentación es monofásica.

Tabla 3.6. Valores comerciales de breakers unipolares y bipolares.

Ítem	Código del breaker	Nº de polos	Corriente (A)
1	A9F73101	1	1
2	A9F73102	1	2
3	A9F73103	1	3
4	A9F73104	1	4
5	A9F78106	1	6
6	A9F78110	1	10
7	A9F73201	2	1
8	A9F73202	2	2
9	A9F73203	2	3
10	A9F73204	2	4
11	A9F78206	2	6
12	A9F78210	2	10

Valores comerciales de breakers, Fuente: (Schneider Electric, 2015)

Observando la tabla 3.6, los valores de breaker que debemos utilizar para cada dispositivo son:

Tabla 3.7. Breakers seleccionados para cada dispositivo de control.

Dispositivo	Breaker	Polos	Corriente (A)
PLC	A9F73101	1	1
HMI	A9F73101	1	1
Fuente	A9F73204	2	4

Breakers seleccionados, Fuente: (Schneider Electric, 2015)

Las Características técnicas de los breakers de protección seleccionados se detallan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Características técnicas de breakers de protección.

Breaker	Código	N° de polos	Corriente (A)	Dimensiones (mm)
	CVS250N	3	250	105x161x86
	A9F73101	1	1	85x18x78.5
	A9F73204	2	4	85x36x78.5

Características técnicas de breakers, Fuente: (Schneider Electric, 2015).

Una vez seleccionados todos los dispositivos eléctricos y electrónicos que van en el tablero, se realiza el diseño del tablero en el software Autocad con las medidas reales de todos los dispositivos y así conocer las medidas mínimas que debe tener el tablero.

En el tablero eléctrico se deben colocar los breakers, el PLC todos los contactores y relés para cada uno de los motores, la fuente de 24 Vdc, el PLC, borneras y canaletas por donde ira el cableado.

El diseño físico del tablero eléctrico realizado en el software Autocad se detalla en el anexo 1.

3.6.5 Diseño de los circuitos eléctricos del tablero

Después de haber realizado el diseño físico del tablero con todos sus elementos, se realiza los planos eléctricos de los circuitos para el funcionamiento del sistema de lavado.

Para la alimentación principal del tablero eléctrico, se toman las 3 fases de un tablero de distribución que se encuentra en la parte exterior de donde se alimenta todo el local y el sistema de lavado de la empresa Ecowash.

El tablero de distribución principal consta de 5 barras de cobre, 3 barras para cada una de las fases, una para tierra y la última para el neutro como se muestra en la Figura 3.7.

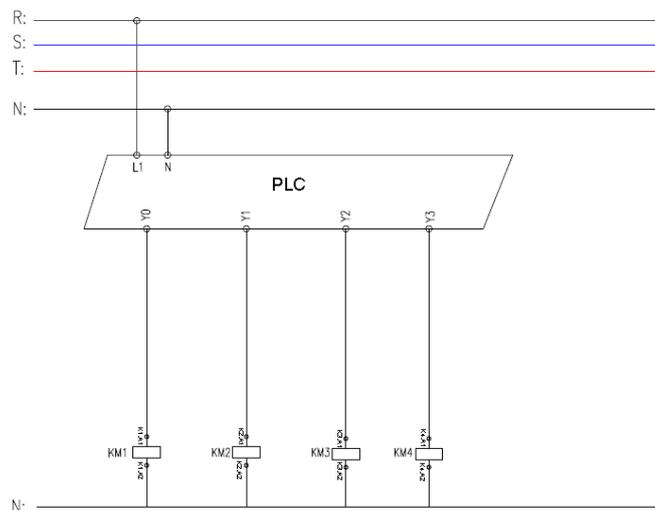
Figura 3.7. Tablero principal de distribución eléctrica



Tablero de distribución principal, Elaborado por: Andrés Pachacama

Una vez que tenemos resuelto la alimentación del tablero principal procedemos a diseñar los demás circuitos eléctricos para el funcionamiento del sistema de lavado. El control de los motores se lo realiza mediante las señales de salida del PLC. Cada salida del PLC (Y0, Y1,...,etc) va conectada a la bobina de cada contactor para conmutar las líneas de alimentación de los motores. El circuito de control general de los motores es:

Figura 3.8. Circuito general de control de los motores



Circuito de control general, Elaborado por: Andrés Pachacama

El circuito mostrado en la Figura 3.8 muestra el ejemplo del control de 4 motores, este circuito es el mismo para el control de todos los motores, turbinas y bombas. El circuito de control completo de todos los motores, las bombas y las electroválvulas se encuentra en el Anexo. El detalle de los elementos de la figura 3.8 se detallan en la siguiente tabla:

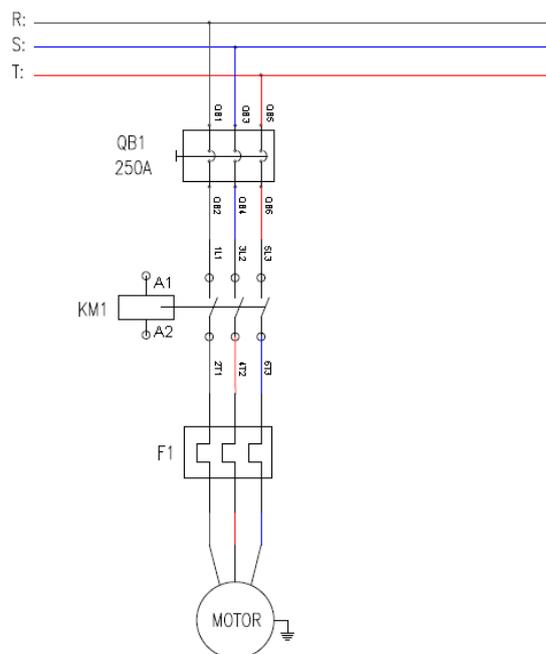
Tabla 3.9. Detalle de los elementos del circuito de control de los motores.

Referencia	Código	Detalle
1	R,S,T	Fases de alimentación
2	Y0,Y1...	Salidas del PLC
3	KM1,KM2...	Contactores
4	K1.A1	Borne de la bobina del contactor
5	K1.A2	Borne de la bobina del contactor
6	N	Neutro

Tabla del detalle de los elementos del circuito de control Elaborado por: Andrés Pachacama

El circuito de fuerza consta de un breaker principal trifásico para las tres líneas de alimentación R, S, T que se conectan al contactor, de la salida del contactor al relé térmico y por último al motor. El circuito se muestra a continuación:

3.9. Diagrama de fuerza de motores y bombas



Circuito de fuerza, Figura Elaborado por: Andrés Pachacama

Este circuito de fuerza es exactamente el mismo para los motores, las bombas y las turbinas con la diferencia de los valores de corriente de los contactores y relés térmicos que varían de acuerdo a la potencia de la carga. El detalle de cada uno de los elementos observados en la Figura 3.9, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.10. Detalle de elementos del circuito de fuerza de los motores.

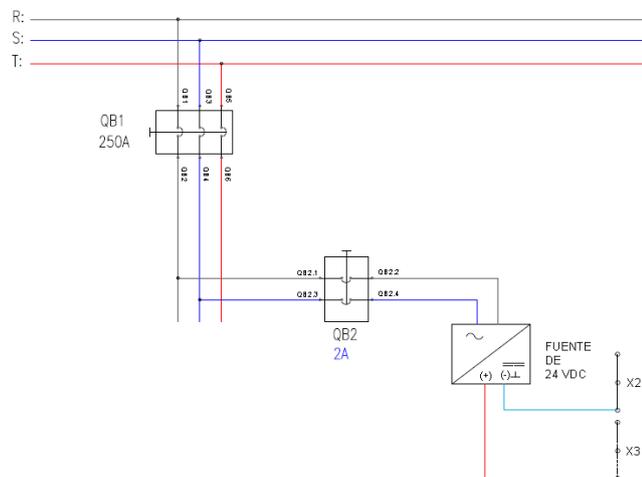
Referencia	Código	Detalle
1	QB1	Breaker principal
2	KM1	Contactador
3	A1	Borne de la bobina del contactor
4	A2	Borne de la bobina del contactor
5	F1	Relé térmico
6	MOTOR	Motor trifásico

Tabla del detalle de elementos del circuito de fuerza, Elaborado por: Andrés Pachacama

El circuito de fuerza completo de todos los motores, las bombas y las turbinas se detallan en el Anexo.

Para alimentar la fuente de 24Vdc llevamos dos fases desde el breaker principal. Se lleva dos fases debido a que la fuente se alimenta con 220Vac. De la salida de la fuente llevamos los 24Vdc a dos grupos de borneras, un grupo para el positivo y otro para el negativo. El circuito eléctrico de la fuente es el siguiente:

Figura 3.10. Circuito eléctrico de la fuente de 24 VDC



Circuito de la fuente de voltaje DC, Elaborado por: Andrés Pachacama

El detalle de cada uno de los elementos observados en la Figura 3.10, se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 3.11. Detalle de elementos del plano eléctrico de la fuente de voltaje.

Referencia	Código	Detalle
1	QB1	Breaker principal
2	QB2	Breaker bipolar
3	FUENTE	Fuente de 24 Vdc
4	X2	Borneras para negativo de 24 Vdc
5	X3	Borneras para positivo de 24 Vdc

Tabla del detalle de elementos del plano eléctrico, Elaborado por: Andrés Pachacama

De estos dos grupos de borneras (tanto del positivo y negativo de los 24 Vdc) es de donde se toma la alimentación de los sensores de presencia y del HMI.

3.6.6 Montaje de los equipos en el tablero eléctrico

Una vez finalizado el diseño físico del tablero eléctrico y los planos eléctricos, se procede al montaje de los equipos en el tablero y a realizar el cableado de los mismos siguiendo los circuitos anteriormente diseñados. El resultado del tablero eléctrico diseñado se muestra en la Figura 3.11:

Figura 3.11. Tablero eléctrico del sistema de lavado.



Tablero eléctrico finalizado, Elaborado por: Andrés Pachacama

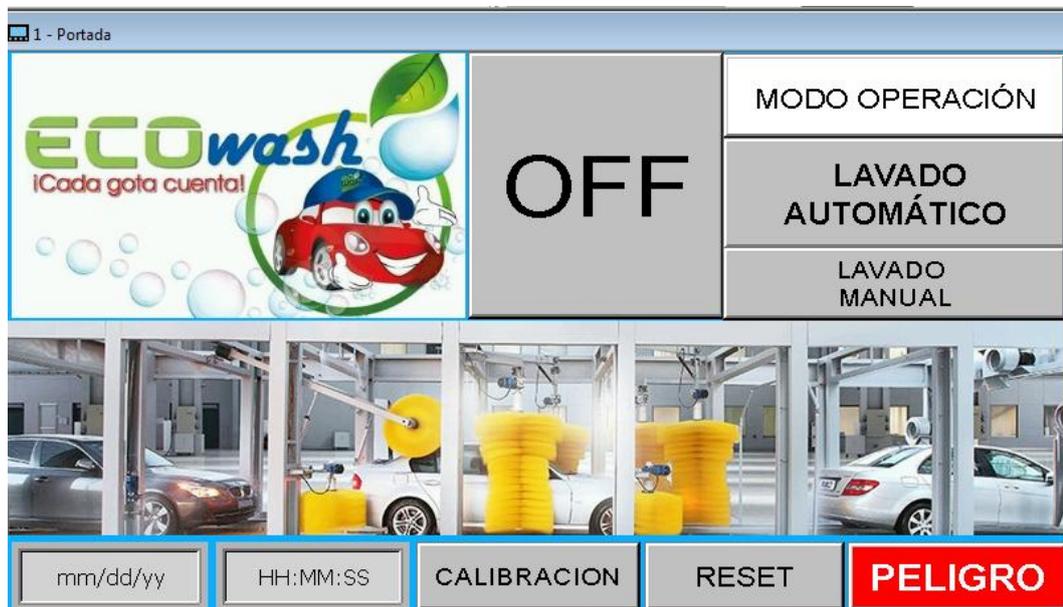
3.7 Diseño del HMI

El HMI consta de varias pantallas para el control y operación del sistema de lavado. La pantalla principal se muestra en la Figura 3.12.

En esta pantalla se puede seleccionar el modo de operación de entre dos opciones: manual o automático.

Además, desde esta pantalla se ingresa a la pantalla de calibración que se explicará más adelante y parar la máquina por algún evento extraordinario con el botón reset.

Figura 3.12. Pantalla principal del HMI



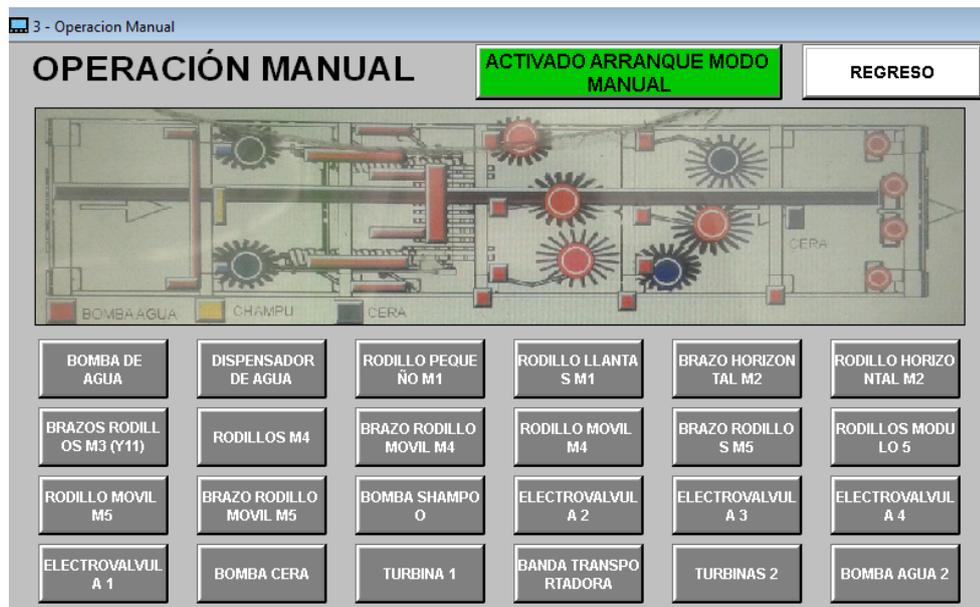
Pantalla principal del HMI, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.7.1 Modo de operación manual

Al seleccionar el modo de operación manual se despliega la siguiente pantalla (ver la Figura 3.13), en esta pantalla se puede activar los motores, las bombas, las electroválvulas y las turbinas una por una.

Esto permite realizar las pruebas del funcionamiento de cada uno de los dispositivos.

Figura 3.13. Pantalla para la operación manual del sistema



Operación manual, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.7.2 Modo de operación automático

Si se selecciona el modo de operación automático se nos dirige a la pantalla que se muestra en la Figura 3.14. En esta pantalla se puede elegir entre 4 tipos de lavado: rapid, express, estándar y full, cada uno de estos se diferencian por la utilización de shampoo y cera.

Por ejemplo en el tipo de lavado *rapid* no se utiliza ni shampoo ni cera, en el *express* se utiliza shampoo pero no cera y en el estándar y full se utilizan los dos productos con la diferencia que en el full se realiza una limpieza interna del automóvil.

También se puede elegir entre 3 diferentes tamaños de automóviles ya que para cada tipo de tamaño de automóvil el tiempo de encendido de cada uno de los rodillos varia, este tiempo se lo configura en la pantalla de calibración.

Los tres diferentes tamaños son: pequeño, mediano y grande representados con fotos de diferentes marcas de autos como se muestra en la Figura 3.14.

Figura 3.14. Pantalla para el modo de operación automático



Modo de operación automático, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.7.3 Pantalla de estado de salidas digitales

En la pantalla del modo de lavado automático se elige la opción salidas digitales para desplegar la pantalla que se muestra en la figura 3.15. En esta se puede observar el estado de las salidas del PLC, es decir, si están encendidas o apagadas.

Figura 3.15. Pantalla de estado de las salidas del PLC



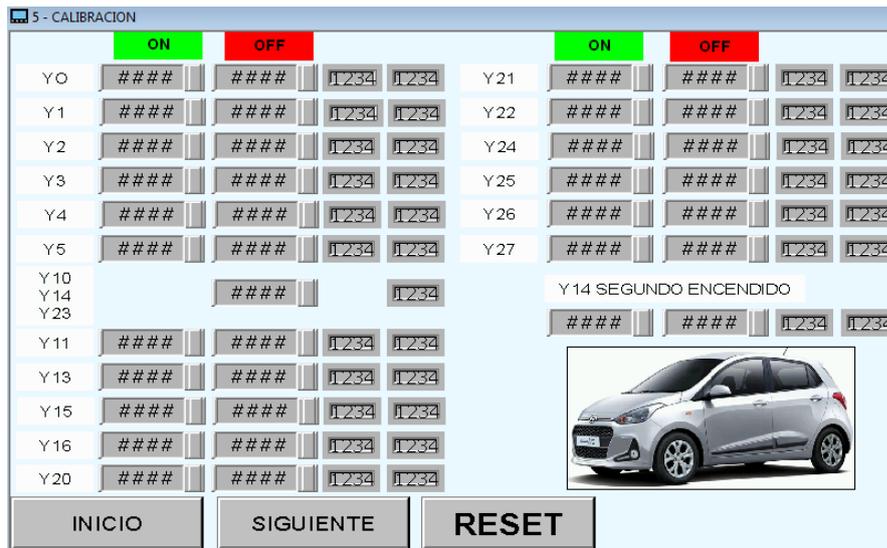
Pantalla de estado de salidas, Elaborado por: Andrés Pachacama.

3.7.4 Pantalla de calibración

En esta pantalla se configuran los tiempos en que se tienen que encender cada uno de los rodillos, bombas, electroválvulas para que el lavado del auto sea preciso y no existan choques de los rodillos ya que podrían dañar la pintura del automóvil.

El encendido y apagado de cada uno de los rodillos se realiza conforme el auto avance por el túnel por el accionamiento de la cadena que lo arrastra. La calibración se lo realiza a las salidas del PLC (Y0, Y1, etc.) ya que cada salida corresponde a un dispositivo diferente sea motor, bomba, electroválvula. Se calibra el tiempo de encendido y apagado en milisegundos partiendo desde cero cuando el segundo sensor de presencia detecta el auto al entrar al túnel.

Figura 3.16. Pantalla de calibración para el control de las salidas del PLC



Pantalla de calibración, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.8 Diseño del tablero neumático

En el tablero neumático se encuentran los componentes necesarios para realizar el control de los pistones los cuales son los encargados de mover los rodillos que realizan el cepillado de la carrocería del auto.

En este tablero se encuentran la unidad de mantenimiento, las electroválvulas y medidores de presión. Además, las señales eléctricas que activan las electroválvulas van desde las borneras hacia las electroválvulas.

Figura 3.17. Tablero neumático del sistema de lavado



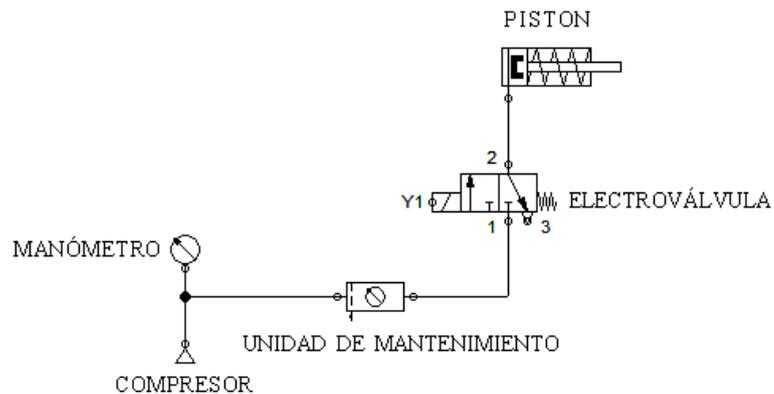
Tablero neumático, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.8.1 Circuitos neumáticos

Debido a que se utilizan electroválvulas para el control del paso del aire, el circuito neumático está sujeto a un circuito eléctrico.

La activación de las electroválvulas se realiza por medio de las salidas del PLC. El circuito neumático principal para el control de un pistón es el siguiente:

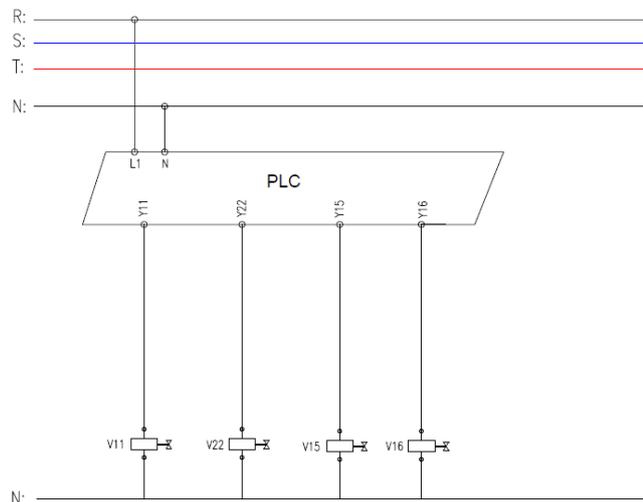
Figura 3.18. Circuito neumático básico para el control de los pistones



Circuito Neumático, Elaborado por: Andrés Pachacama

En la Figura 3.18 se muestra el borne Y1 que es la representación de la bobina de la electroválvula, para realizar el control de la bobina se utiliza las salidas del PLC, el circuito eléctrico que describe este funcionamiento se muestra a continuación:

Figura 3.19 Circuito eléctrico para el control de las válvulas

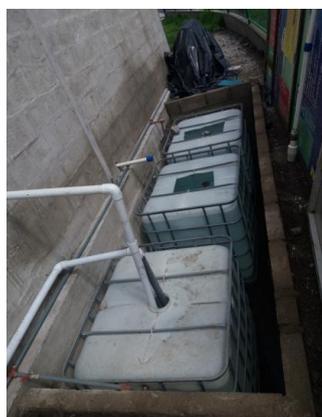


Circuito de control, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.9 Diseño del sistema de reutilización de agua

El diseño de un sistema de reutilización de agua inicia con la elección del lugar donde se va a depositar el agua residual del lavado de un vehículo y el almacenaje del agua tratada. Para almacenar el agua residual y el agua tratada se construye un pozo en donde irán los tanques para el almacenamiento, como se muestra en la Figura 3.20.

Figura 3.20. Tanques para el almacenamiento de agua.



Tanques de depósito, Elaborado por: Andrés Pachacama

La succión del agua residual desde el tanque de almacenamiento se llevará a cabo mediante una bomba. La bomba de succión es una bomba bifásica a 220V, la que se muestra en la figura 3.21, la función de esta bomba es llevar el agua residual por las cañerías hasta los tanques filtradores para purificar el agua y posteriormente reutilizarla.

Figura 3.21. Bomba para la succión del agua en el sistema de reutilización



Bomba de succión, Elaborado por: Andrés Pachacama

En el sistema el agua reutilizada se lo usará en el lavado de automóviles por lo que no se exige una pureza elevada del agua, si fuera para consumo humano el agua debería tener una pureza muy alta y debería tener un sistema de purificación más especializado. El sistema utiliza un proceso de filtración por medio de los tanques que se muestran en la Figura 3.22, este proceso remueve las partículas grandes y pequeñas pasando el agua a través de lechos de materiales granulares (arena).

Figura 3.22. Tanques para la filtración del agua del sistema de reutilización



Tanques de filtrado, Elaborado por: Andrés Pachacama

El control de la bomba se lo realizará de manera manual mediante un pequeño tablero de control el cual consta de un selector, pulsadores y luces piloto en su parte exterior, como se muestra en la Figura 3.23.

Los pulsadores nos permiten dar la marcha y el paro de la bomba. Las luces piloto nos ayudan a identificar si la bomba está trabajando o está parada.

Figura 3.23. Tablero eléctrico para el control de la bomba de reutilización de agua



Tablero eléctrico para la reutilización de agua, Elaborado por: Andrés Pachacama

En la parte interior de este pequeño tablero se encuentran todas las conexiones necesarias para la marcha y paro de la bomba, así como los elementos de protección de la bomba como son breaker y relé térmico.

La selección del breaker, contactor y relé térmico se lo realiza de la misma manera indicada anteriormente para la selección de los elementos de protección del tablero de control principal del sistema.

3.10 Circuitos eléctricos del sistema de reutilización de agua

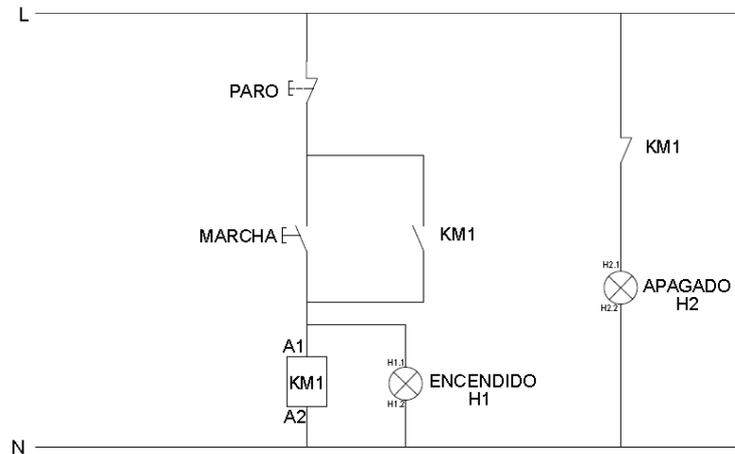
Para el funcionamiento de la bomba de succión del sistema de reutilización es necesario diseñar los circuitos de control y de fuerza.

3.10.1 Circuito de control

En el circuito de control se detallan las conexiones de los botones de marcha y paro que son los encargados de encender y apagar la bomba. Estos botones permiten

energizar el contactor para conmutar las líneas de alimentación hacia la bomba. El circuito de control es el siguiente:

Figura 3.24. Circuito de control del tablero eléctrico del sistema de reutilización



Circuito de control, Elaborado por: Andrés Pachacama

El detalle de cada uno de los elementos mostrados en la figura 3.24 se muestra a continuación:

Tabla 3.12. Detalle de los elementos que intervienen en el circuito de control del sistema de reutilización

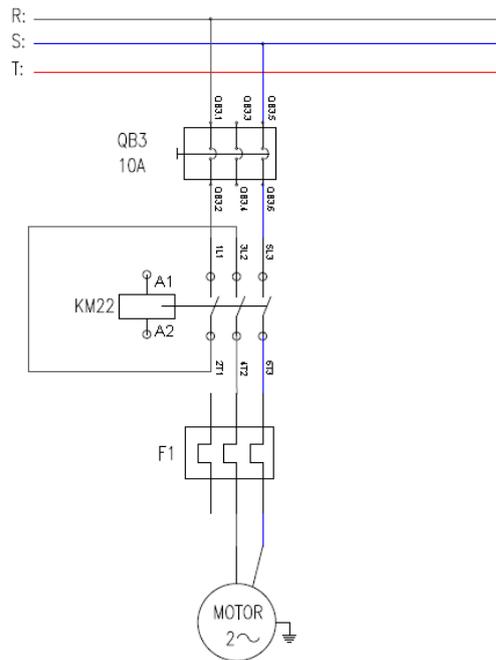
Referencia	Código	Detalle
1	L	Línea de alimentación
2	PARO	Contacto cerrado para apagar la bomba
3	MARCHA	Contacto abierto para encender la bomba
4	KM1	Contactador
5	A1	Borne de la bobina del contactor
6	A2	Borne de la bobina del contactor
7	H1	Luz piloto de encendido de la bomba
8	H2	Luz piloto cuando la bomba está apagada

Tabla del detalle de los elementos, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.10.2 Circuito de fuerza

En el circuito de fuerza consta el breaker de protección de nuestro tablero, el contactor y relé térmico que son las protecciones de la bomba.

Figura 3.25. Circuito de fuerza de la bomba para el sistema de reutilización



Circuito de fuerza, Elaborado por: Andrés Pachacama

Como se puede observar en la Figura 3.25, se utiliza solo dos fases del sistema trifásico ya que nuestra bomba trabaja a 220 V (bifásico).

Una vez realizado el diseño de los circuitos del tablero de control de la bomba de succión, procedemos a montar los equipos en el interior del tablero y a realizar las conexiones de los circuitos anteriormente diseñados.

Figura 3.26. Tablero para el control de la bomba (parte interior)



Tablero eléctrico para la reutilización de agua, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.11 Diagrama de circulación del agua en el sistema de reutilización

La circulación del agua dentro del sistema de reutilización empieza en el tanque de depósito del agua residual producto de un lavado anterior.

La bomba de succión toma esta agua y la lleva por cañería hasta pasar por los tanques purificadores los cuales son los encargados de limpiar el agua residual.

Una vez que el agua pasa por los tanques de purificación se puede volver a utilizar en un nuevo lavado, por lo que el siguiente destino del agua es otro tanque en donde se deposita el agua para reutilizar. Las etapas de este proceso se ilustran en la figura 3.27.

Figura 3.27. Diagrama de circulación de agua en el sistema de reutilización



Circulación de agua en el sistema de reutilización, Elaborado por: Andrés Pachacama

3.12 Programación del PLC

El PLC es el dispositivo encargado de evaluar las señales de los sensores, enviar las señales para la activación de los motores, las bombas, las electroválvulas y es el que se comunica mediante el protocolo RS-232 con el HMI para comandar el sistema.

Antes de empezar la programación, se realiza una tabla con el detalle de cada dispositivo dentro del sistema y la entrada o salida asignada en el PLC, observar la Tabla 3.13.

Esto nos servirá para tener idea del dispositivo que debe ir prendiéndose y la salida que tenemos que ir activando secuencialmente.

Tabla 3.13. Distribución de entradas y salidas del PLC.

Ítem	Entrada/Salida del PLC	Referencia
1	X20	Sensor 1
2	X21	Sensor 2
3	X22	Sensor 3
4	Y0	Motor de rodillos pequeños
5	Y1	Rodillo brazo derecho
6	Y2	Rodillo Horizontal
7	Y3	Rodillo brazo izquierdo
8	Y4	Rodillo movible derecho
9	Y5	Rodillo movible izquierdo
10	Y6	Turbinas
11	Y7	Turbinas
12	Y10	Motor de riego
13	Y11	Electroválvula rodillo móvil 1
14	Y12	Conveyer
15	Y13	Rodillos de limpieza de llantas
16	Y14	Bomba de agua
17	Y15	Electroválvula del rodillo horizontal
18	Y16	Electroválvula rodillo móvil 2
19	Y21	Bomba de agua 2
20	Y23	Electroválvula enjuague 1
21	Y24	Electroválvula enjuague 2
22	Y25	Electroválvula enjuague 3
23	Y26	Bomba de shampoo
24	Y27	Bomba de cera

Distribución de entradas y salidas del PLC, Elaborado por: Andrés Pachacama

A continuación se mostrarán las líneas de programación más representantes para poder entender el proceso del sistema de lavado a implementar, la programación completa se encuentra en el Anexo.

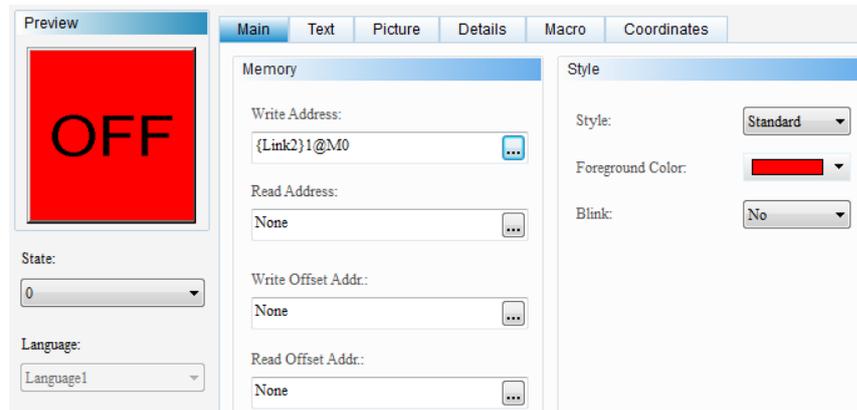
El sistema de lavado consta de dos modos de operación: manual y automático, como se indicó en el diseño del HMI, por lo que la programación del PLC es distinta para cada uno de estos modos de operación.

3.12.1 Modo de operación manual

Como se puede observar en el diseño del HMI las pantallas tienen varios botones, cada uno con una función diferente.

Al presionar cualquier botón, el HMI activa una marca que es leída inmediatamente por el PLC, a cada botón se le asigna una marca diferente en la configuración dentro del Software DOP Soft, como se muestra en la Figura 3.28.

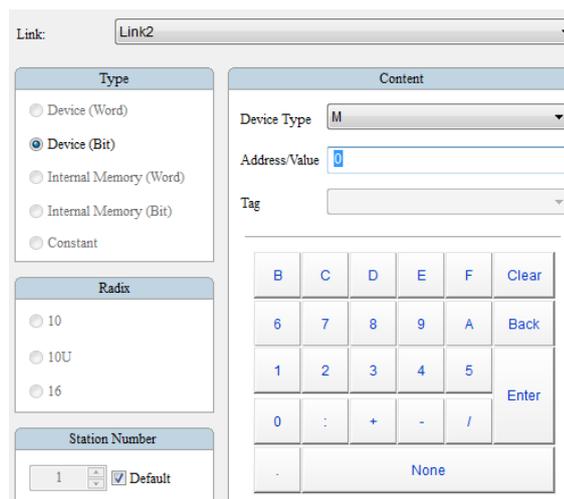
Figura 3.28. Configuración del botón de encendido del sistema



Configuración de un botón del HMI, Elaborado por: Andrés Pachacama

La configuración del botón de encendido de la maquina, inicia con la opción Write Address en donde se asigna el número de marca al botón, al escoger esta opción se nos abre la ventana que se muestra a continuación:

Figura 3.29. Asignación de la marca a uno de los botones del HMI



Marca correspondiente al botón, Elaborado por: Andrés Pachacama

Este procedimiento se realiza con todos los botones del HMI a excepción de los botones que nos dirigen a otras pantallas.

Para la programación del PLC en modo de operación manual se debe evaluar las marcas establecidas en las pantallas del HMI, como son: la activación del modo manual, la activación de la maquina y en la pantalla de operación manual se evalúa las marcas que corresponden a cada uno de los motores, las turbinas, las electroválvulas, etc.

Por lo tanto, la línea de programación principal en el modo de operación manual es la siguiente:

Figura 3.30. Línea de programación principal para el modo de operación manual



Programación PLC modo manual, Elaborado por: Andrés Pachacama

Cada una de las marcas que se muestran en la Figura 3.30, corresponden a: la activación de la máquina (M0), activación del modo manual (M31) y la activación de cada uno de los motores u otro dispositivo del sistema.

En el ejemplo de la Figura 3.30, se activa la marca M7 correspondiente a bomba de agua, para la activación de la bomba como se muestra en la tabla 3.13, se debe activar la salida Y14 del PLC.

Esta línea de programación se repite para la activación de cada uno de los motores, las turbinas, las bombas y las electroválvulas de nuestro sistema en modo de operación manual, teniendo en cuenta el número de marca de cada botón de la pantalla de operación manual del HMI.

3.12.2 Modo de operación automático

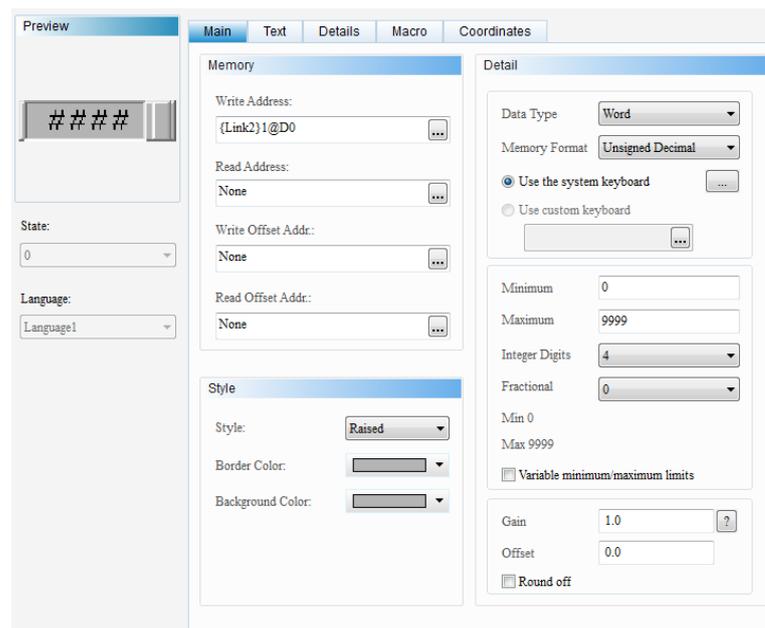
Para el modo de operación automático se realiza una programación diferente. En modo automático se debe elegir en el HMI el tipo de carro y el tipo de lavado, para después presionar el botón START, la máquina empieza el proceso automáticamente

cuando el primer sensor detecta la presencia de un automóvil y los demás dispositivos: motores, bombas, electroválvulas y turbinas se van encendiendo progresivamente de acuerdo al tiempo asignado en la pantalla de calibración del HMI.

En la pantalla de calibración se asigna el tiempo de encendido y apagado de cada una de las salidas del PLC, estos valores son leídos por el PLC y asignados a los temporizadores para que la activación de los dispositivos vaya realizando en el tiempo calibrado.

En las entradas numéricas de la pantalla de calibración se configura en que dirección se va a guardar el valor.

Figura 3.31. Configuración de una entrada numérica de la pantalla de calibración



Configuración de una entrada numérica, Elaborado por: Andrés Pachacama

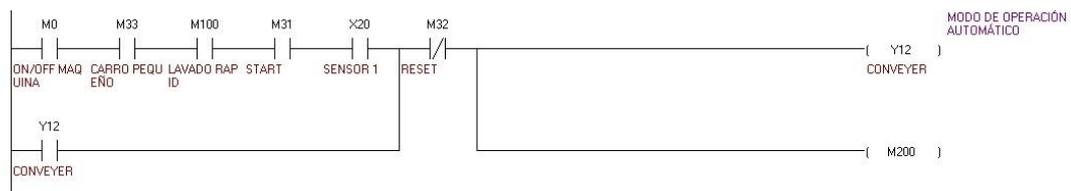
Por ejemplo en la Figura 3.31, se muestra el ejemplo de la configuración de una de las entradas numéricas, se observa que el valor se asignará a la marca tipo Word “D4”.

El valor de esta marca será leído por el PLC y asignado a un temporizador. Una vez configuradas todas las entradas numéricas en el HMI se procede a realizar la programación del PLC.

Para empezar se evalúa la marca “M0” que es la activación del sistema, a continuación las marcas donde se elige el tipo de carro y el tipo de lavado, luego el START y la entrada del primer sensor (X20), al activar todas estas entradas se enciende la salida Y12 correspondiente al conveyer para que empiece a jalar el automóvil dentro del túnel.

Además, se activa la marca M200 para que el programa tenga continuidad en las demás líneas de programación.

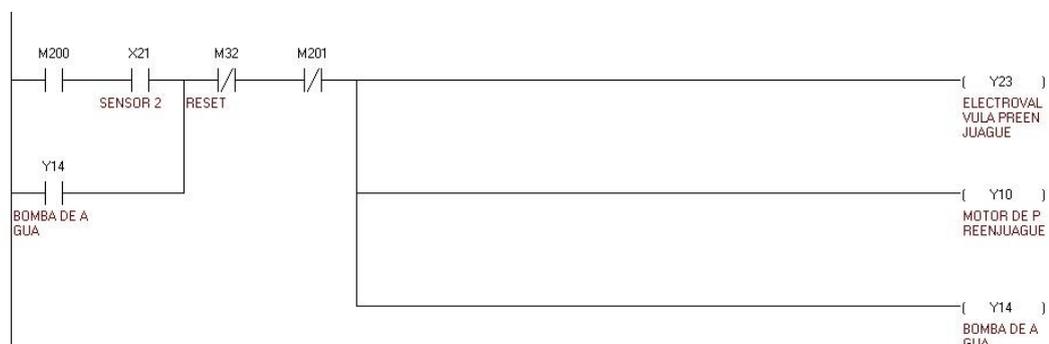
Figura 3.32. Línea de programación para el encendido del conveyer



Encendido del conveyer, Elaborado por: Andrés Pachacama

Cuando el auto está ingresando al sistema de lavado se debe esperar la señal del segundo sensor para que se encienda la bomba de agua, la electroválvula y el motor de riego.

Figura 3.33. Línea de programación para el encendido de la bomba.

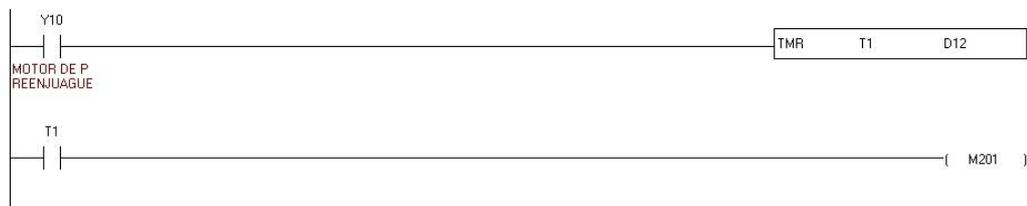


Encendido de la bomba de agua, Elaborado por: Andrés Pachacama

Estas tres salidas se encienden durante un cierto tiempo el cual está dado por la marca “D12” la cual se asignó en la pantalla de calibración, este valor se le asigna al temporizador T1.

Una vez que transcurra este tiempo se activa la marca M201 y como se observa en la Figura 3.33 hay un contacto cerrado de esta marca, por lo que al activarse esta marca se desactivan las salidas Y23, Y10, Y14.

Figura 3.34. Línea de programación para el tiempo de encendido de la bomba.



Tiempo de encendido de la bomba, Elaborado por: Andrés Pachacama

Las anteriores líneas de programación se repiten para la activación de cada uno de los dispositivos, basados todos en el valor de tiempo configurado en la pantalla de calibración.

Los tiempos de encendido y apagado utilizados se exponen en el capítulo 4. El programa completo utilizado en el sistema se muestra en el Anexo 4.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestran las pruebas y resultados del funcionamiento del sistema de lavado automático implementado. Se realizan pruebas para verificar que el tiempo de lavado es menor, sin disminuir la calidad del lavado. Se realizan las pruebas del sistema de reutilización de agua.

4.1 Pruebas de funcionamiento

Uno de los principales requerimientos de la empresa Ecowash es que el sistema abarque todas las fases del lavado de un automóvil como son: el pre-enjuague, el jabonado, el enjuague, el secado y el encerado.

Para poder cumplir con las exigencias de la empresa se procedió a dividir el túnel de lavado en etapas:

4.1.1 Pre-enjuague

Esta fase del proceso se realiza mediante la bomba que realiza el riego del agua por toda la carrocería del auto ayudado por un motor que mueve los dispersores de agua de manera longitudinal.

Figura 4.1. Fase de pre-enjuague en el sistema automático implementado



Fase de pre-enjuague, Elaborado por: Andrés Pachacama

4.1.2 Jabonado

Se lo realiza mediante una pequeña bomba la cual succiona shampoo líquido hacia los dispersores que riegan el shampoo en toda la carrocería del automóvil.

Figura 4.2. Bomba para la succión de shampoo líquido en la fase de jabonado



Bomba de shampoo, Elaborado por Andrés Pachacama

4.1.3 Cepillado

El cepillado en el sistema se lo realiza mediante los rodillos que giran a una alta velocidad por un motor y el juego mecánico que tiene.

El vehículo está cubierto de shampoo por lo que se realiza un mejor cepillado que retira todas las suciedades de la carrocería del vehículo.

Figura 4.3. Fase de cepillado en el sistema automático implementado.



Fase de cepillado, Elaborado por: Andrés Pachacama

4.1.4 Encerado

Al igual que la fase de jabonado, esta se lo realiza mediante una pequeña bomba que succiona cera líquida hasta llevar a los dispersores y rociar al vehículo con cera.

4.1.5 Secado

Esta fase del proceso de lavado se lo realiza mediante 4 turbinas que dirigen aire a la carrocería para soplar el agua depositada resultado del lavado y encerado del automotor.

Figura 4.4. Turbinas para el secado del automóvil.



Turbina de secado, Elaborado por: Andrés Pachacama

4.2 Calibración del sistema

La calibración de los tiempos de encendido y apagado de las salidas del PLC que a su vez controlan los diferentes elementos eléctricos y electrónicos se lo realizó mediante prueba en campo de acuerdo a cada tipo de vehículo y cada tipo de lavado.

Se tomaron varias mediciones de tiempo con distintos tamaños de automóviles y con ayuda de la pantalla de operación manual del HMI.

En la Tabla 4.1 se muestra como ejemplo los valores de tiempos determinados para un automóvil pequeño.

Tabla 4.1. Valores de tiempos de encendido y apagado de las salidas del PLC obtenidos en la calibración.

Salida del PLC	Tiempo de encendido (ms)	Tiempo de apagado (ms)
Y0	5	550
Y1	400	950
Y2	150	950
Y3	750	1200
Y4	500	1300
Y5	650	1200
Y10	1	450
Y14	1	450
Y23	1	450
Y11	500	555
Y13	150	700
Y15	150	900
Y16	800	890
Y20	940	1130
Y21	800	1000
Y22	720	790
Y24	550	800
Y25	650	1300
Y26	100	350
Y27	850	950

Tiempos de encendido y apagado de las salidas del PLC, Elaborado por: Andrés Pachacama

4.3 Pruebas del tiempo de lavado con el sistema automático

Un requerimiento de la empresa Ecowash es que el sistema implementado realice el lavado en un tiempo menor a un lavado realizado manualmente. Para determinar si el sistema automático de lavado realiza el proceso en un tiempo menor, se recolectó información de tres empresas que realizan el lavado de manera manual.

El tiempo de lavado varía dependiendo del tamaño del auto y el tipo de lavado por lo que dividimos la información en: Tipos de lavado: normal y full. Tipos de vehículos: pequeño, mediano y grande.

En la Tabla 4.2 se observa los valores tomados. Se tienen dos valores por cada empresa: por tipo de vehículo y tipo de lavado.

Tabla 4.2. Datos de tiempos tomados en empresas que realizan el lavado manualmente.

N° DE MUESTRA	CARRO PEQUEÑO		CARRO MEDIANO		CARRO GRANDE	
	TIEMPO DE LAVADO NORMAL (min)	TIEMPO DE LAVADO FULL (min)	TIEMPO DE LAVADO NORMAL (min)	TIEMPO DE LAVADO FULL (min)	TIEMPO DE LAVADO NORMAL (min)	TIEMPO DE LAVADO FULL (min)
1a	25,3	45,6	36,3	60,2	50,3	79,5
1b	24,6	46,5	34,5	58,5	50,5	81,3
2a	23,5	44,5	37,5	59,5	49,2	79,5
2b	22,5	44,3	36,2	59,5	51,4	78,5
3a	26,5	47,5	33,5	58,5	47,5	77,3
3b	25,1	45,1	32,5	57,5	48,5	77,5

Tiempos tomados en otras empresas, Elaborado por: Andrés Pachacama

En la tabla 4.3 se registró los tiempos del lavado del sistema implementado para la comparación y posterior análisis.

Tabla 4.3. Datos de tiempos de lavado obtenidos con el sistema de lavado automático.

N° DE MUESTRA	CARRO PEQUEÑO		CARRO MEDIANO		CARRO GRANDE	
	TIEMPO DE LAVADO NORMAL (min)	TIEMPO DE LAVADO FULL (min)	TIEMPO DE LAVADO NORMAL (min)	TIEMPO DE LAVADO FULL (min)	TIEMPO DE LAVADO NORMAL (min)	TIEMPO DE LAVADO FULL (min)
1	15,3	30,7	25,6	40,8	32,7	50,2
2	14,2	31,5	25,4	38,5	34,2	49,5
3	14,5	30,5	26,8	38,3	33,5	51,3
4	15,5	29,4	24,2	39,2	31,3	50,1
5	14,5	31,2	23,5	39,7	31,6	49,5
6	16,2	30,2	26,1	40,2	33,2	49,8

Tiempos de lavado obtenidos con el sistema de lavado implementado, Elaborado por: Andrés Pachacama

4.4 Análisis de resultados

El análisis de resultados se realiza al comparar los valores de los tiempos de lavado manual con los del lavado automático.

En la tabla 4.4 se puede observar los promedios de los tiempos de lavado manuales y automáticos para los diferentes tipos de carros y lavado.

Tabla 4.4. Tiempos promedio según tipo de carro y tipo de lavado.

TIPO DE VEHÍCULO	LAVADO NORMAL		LAVADO FULL	
	TIEMPO PROMEDIO OTROS (min)	TIEMPO PROMEDIO ECOWASH (min)	TIEMPO PROMEDIO OTROS (min)	TIEMPO PROMEDIO ECOWASH (min)
PEQUEÑO	24,58	15	45,41	30,5
MEDIANO	34,92	25,16	58,83	39,66
GRANDE	49,5	32,83	78,83	50,08

Tiempos promedio, Elaborado por: Andrés Pachacama

Con los datos de la tabla 4.4 se determina el valor promedio porcentual de la reducción del tiempo mediante la siguiente ecuación:

$$Valorporcentual_{mejora} = \left(\frac{valor_{manual} - valor_{automatico}}{valor_{manual}} \right) * 100 \quad Ec.(4.1)$$

Los promedios porcentuales de la mejora en los tiempos de lavado se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Porcentajes de mejora en los tiempos de lavado según el tipo de carro y el tipo de lavado.

PORCENTAJES DE MEJORA EN LOS TIEMPOS DE LAVADO		
TIPO DE VEHÍCULO	LAVADO NORMAL	LAVADO FULL
PEQUEÑO	38,97	32,83
MEDIANO	27,94	32,58
GRANDE	33,67	36,47

Porcentajes de mejora en los tiempos de lavado, Elaborado por: Andrés Pachacama

De acuerdo a los valores tabulados se determina que el sistema de lavado automático reduce en un 39% en promedio el tiempo de lavado normal de un automóvil pequeño y un 33% el tiempo de lavado full.

Para un carro mediano el sistema mejora el tiempo de lavado en un 28% para el lavado normal y un 33% en el lavado full.

En cambio, para un carro grande el sistema mejora el tiempo de lavado en un 34% en lavado normal y un 36% en lavado full.

4.5 Sistema de reutilización de agua

Para determinar un valor cuantificable del trabajo del sistema de reutilización de agua se realizó el siguiente procedimiento:

Primero se partió de la cantidad de agua que se puede almacenar en uno de los tanques, cada tanque que se muestra en la figura 3.20 tiene la capacidad de 1055 litros.

Entonces, se utiliza uno de los tanques de agua llenos en el lavado de varios vehículos, el agua residual del lavado de todos estos automóviles se almacena en un segundo tanque, una vez que se termina el agua del primer tanque, encendemos el sistema de reutilización de agua y almacenamos el agua tratada en un tercer tanque.

Para medir la cantidad de agua que se reutilizó en comparación a la primera cantidad utilizada, es decir a los 1055 litros con los que se empezó a realizar el lavado de los vehículos realizamos una tabla con los resultados, en esta tabla se muestra la cantidad de agua que se reutilizó en 5 pruebas.

Tabla 4.6. Resultados de la cantidad de agua reutilizada por el sistema.

Cantidad de agua inicial (lt)	Cantidad de agua reutilizada (lt)	Porcentaje de agua reutilizada (%)
1055	800	76
1045	750	72
1055	850	81
1050	820	78
1052	730	69
	Promedio	75

Tabla de la cantidad de agua reutilizada por el sistema, Elaborado por: Andrés Pachacama

Como se observa en la tabla 4.6, con el sistema de reutilización de agua se reutiliza un 75% del agua que inicialmente se uso en el lavado de los vehículos, esto genera un impacto positivo en el medio ambiente y a su vez trae consigo un ahorro en la planilla de agua mensual.

Se debe tomar en consideración que el porcentaje promedio puede variar de acuerdo al tipo de lavado y tipo de vehículo.

El procedimiento para una medición por el tipo de lavado y tipo de vehículo no es posible porque las mediciones se realizaron según la demanda y el orden de llegada de los vehículos.

No existe un estándar técnico para sistemas de reutilización de agua en el país, pero el nivel de pureza del agua es diferente según el proceso consecuente en el que se vaya a utilizar el agua reutilizada.

El sistema realiza una filtración de partículas grandes y de suciedad para poder reutilizar el agua en un nuevo lavado, al agua reutilizada tiene la pureza necesaria para el proceso consecuente que es el lavado de otro vehículo.

CONCLUSIONES

Mediante la caracterización del proceso de lavado se conoció las diferentes fases que intervienen en el lavado de un vehículo. Se logra determinar el proceso manual y el requerimiento de automatizar para el diseño e implementación del sistema.

La automatización del proceso se realiza con un PLC y el operador puede comandar el sistema mediante un HMI con lo cual agiliza la puesta en marcha del sistema y mejora la atención al cliente.

La calibración de los tiempos de encendido y apagado de las salidas del PLC se realizó en campo con vehículos de diferentes tamaños logrando un estándar de tiempos que permitan que el lavado del auto se desarrolle secuencialmente y de manera precisa. El HMI permite la operación del sistema y también la parametrización de los tiempos de operación sin necesidad de modificar el algoritmo del PLC.

El sistema automático desarrollado cubre todas las fases y necesidades de la empresa Ecowash. El proceso del lavado del automóvil incluye las etapas de: pre-enjuague, enjuague, cepillado, encerado y secado.

El sistema de lavado automático implementado mejora el tiempo de lavado de un vehículo en un 34% en promedio, en comparación con empresas que realizan el proceso de lavado de forma manual.

La implementación de un sistema de reutilización de aguas residuales permite reutilizar el 75 % del agua utilizada en el lavado de un vehículo trayendo así beneficios al medio ambiente por el ahorro del líquido vital y a su vez beneficios económicos para la empresa Ecowash.

RECOMENDACIONES

Realizar un mantenimiento preventivo cada 3 meses de engrasamiento de los motores y de la cadena del conveyer, de las conexiones eléctricas, de los contactores, de los relés y de los sensores de presencia.

La reutilización del agua se debe realizar única y exclusivamente por una sola vez ya que la calidad del agua no sería la indicada si la reutilización se realiza más veces y, además, se debe realizar la limpieza de los tanques de almacenamiento periódicamente.

Para mejorar el sistema de reutilización de agua se podrían instalar sensores de nivel de agua para que el encendido de la bomba no se realice de manera manual sino automática y así no estar pendientes del llenado de los tanques.

REFERENCIAS

- Agua, Energía y Medioambiente Servicios Integrales S.L.U. (AEMA). (5 de Diciembre de 2014). *www.aguasresiduales.info*. Recuperado el 5 de Mayo de 2017, de <https://www.aguasresiduales.info>
- Ávila, C. (21 de Abril de 2017). *SlideShare.com*. Recuperado el 25 de Junio de 2017, de <https://es.slideshare.net/CarlosAvila186/rele-termico-75289080>
- Banner. (2015). *http://info.bannerengineering.com*. Recuperado el 21 de Junio de 2017, de <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/116159.pdf>
- Contaval S.A. (14 de Abril de 2016). *contaval.es*. Recuperado el 30 de Mayo de 2017, de <http://www.contaval.es/que-tipos-de-sensores-fotoelectricos-existen/>
- Delta Electronics, Inc. (2017). *deltaww.com*. Recuperado el 9 de Agosto de 2017, de <http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=337&hl=en-US&Name=DOP-B07E415>
- Exsol Cia.Ltda. (18 de Enero de 2017). *http://www.exsol.com.ar*. Recuperado el 2 de Junio de 2017, de <http://www.exsol.com.ar/automatizacion-industrial/>
- Fernandez, P. (7 de Noviembre de 2015). *Microncontroladores PIC, La solución en un chip*. Recuperado el 30 de Octubre de 2017, de [fdetonline.com: http://fdetonline.com/microcontroladores-que-son-y-para-que-sirven/](http://fdetonline.com/microcontroladores-que-son-y-para-que-sirven/)
- Fidalgo, J., Fernandez, M., & Fernandez, N. (2016). *Tecnología Industrial II*. Madrid, Alemania: Ediciones Paraninfo.
- Gonzales, A. G. (20 de Mayo de 2015). *Panamahitek*. Recuperado el 7 de Julio de 2017, de <http://panamahitek.com/que-es-arduino-y-para-que-se-utiliza/>
- Harper, E. (2005). *Curso de transformadores y motor de inducción* (4ª ed.). México D.F, Mexico: LIMUSA Noriega Editorial.
- Henriquez, M. (2013). *Breakers y tableros eléctricos*. Charallave: Experimental La Victoria.
- Martín, J. C., & García, M. P. (2016). *Automatismos Industriales*. Madrid: Editex.
- Mattarollo, Y. (9 de Enero de 2014). *http://www.altecdust.com*. Recuperado el 22 de Junio de 2017, de <http://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>
- Monzón, R. S. (2014). *Automatismos Industriales*. Valencia: Nau Libres.

Osorio Robles, F., & Torres, J. (2010). *TRATEMIENTOS DE AGUAS PARA LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS Y AGENTES CONTAMINANTES*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.

Quiminet. (7 de Octubre de 2011). *Quiminet.com*. Recuperado el 28 de Julio de 2017, de <https://www.quiminet.com>.

Schneider Electric. (2015). *schneider-electric.com.pe*. Recuperado el 28 de Julio de 2017, de <http://www.schneider-electric.com>

Torres, E. (Agosto de 2002). *bibdigital.epn*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11787/1/T2071.pdf>

Torres, E; Buchelli, J. (Julio de 2017). *epn.com*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, de <http://bibdigital.epn.edu.ec>

Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. México D.F: PEARSON Educacion.

Wonderware Spain. (2017). *wonderware.es*. Recuperado el 29 de Julio de 2017, de <http://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>

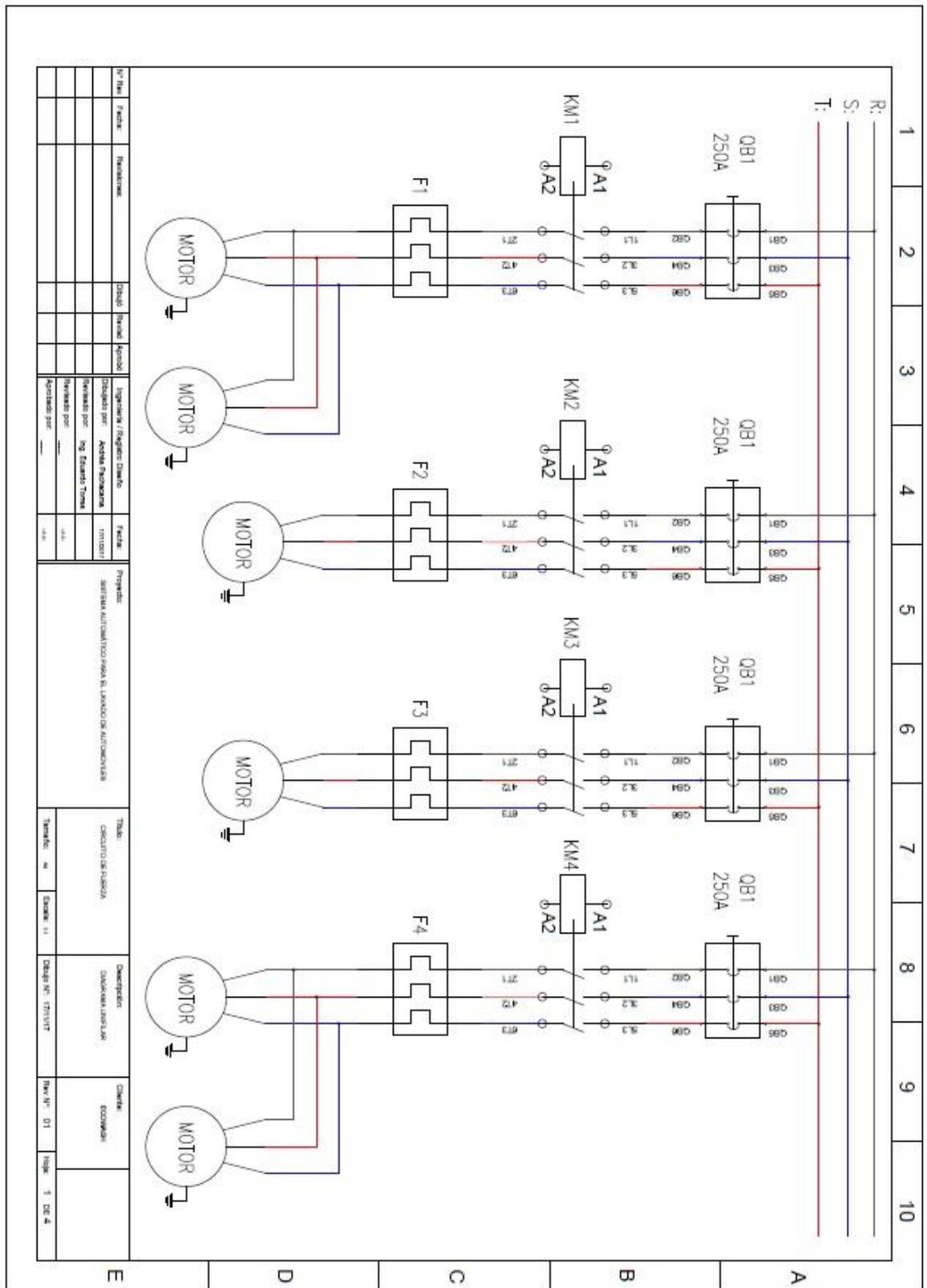
ANEXOS

Anexo 2: Detalle de los elementos del tablero de control.

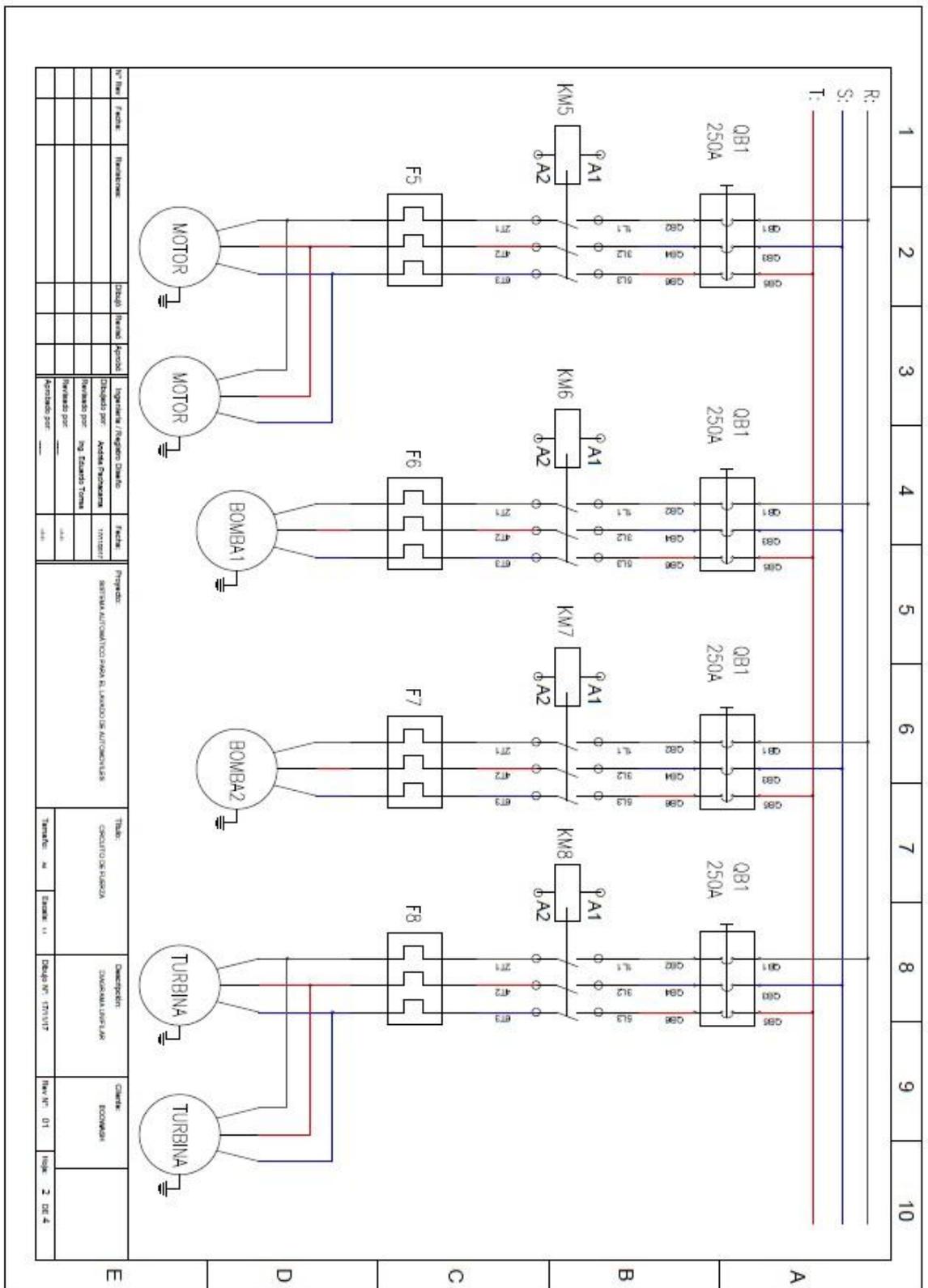
Referencia	Detalle
1	Breaker tripolar principal
2	Contactores
3	Breaker bipolar para protección de la fuente
4	Fuente de voltaje DC
5	PLC
6	Borneras
7	Canaletas

Detalle de los elementos del tablero de control, Elaborado por: Andrés Pachacama

Anexo 3: Circuito de fuerza completo de motores, bombas y turbinas.

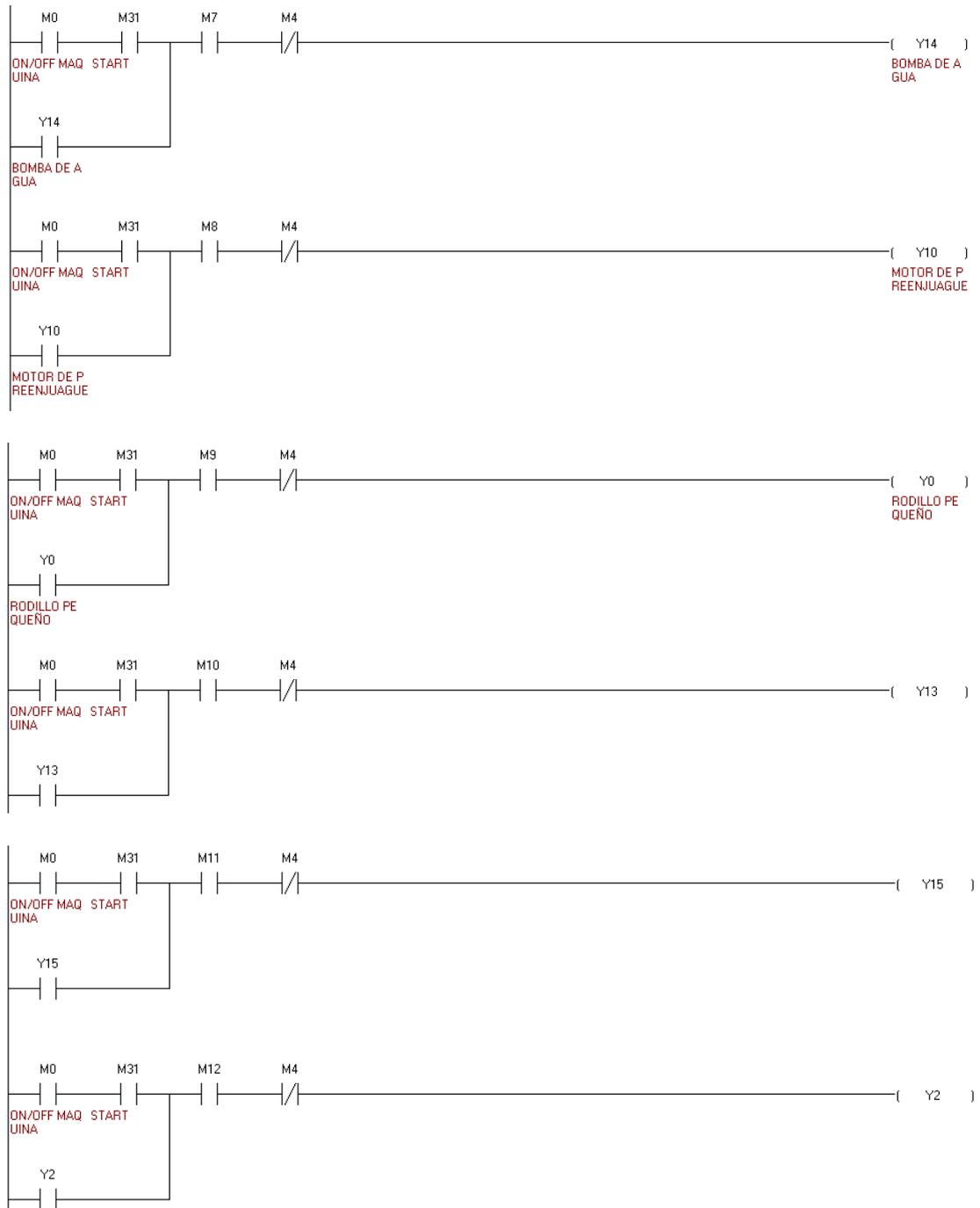


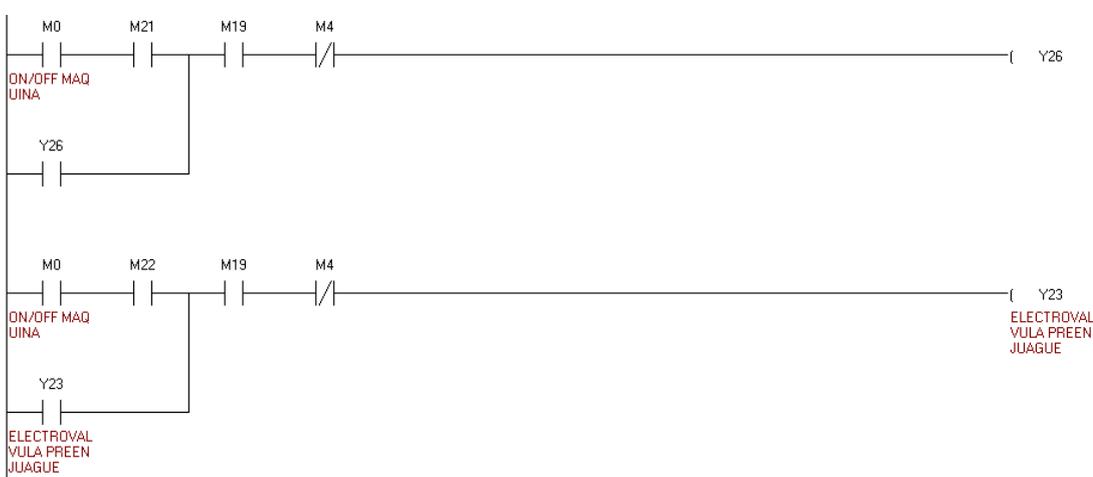
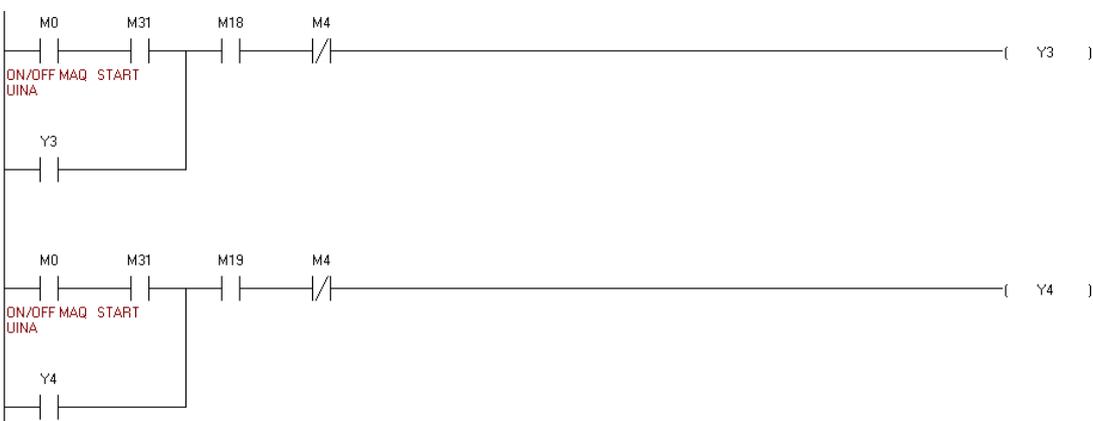
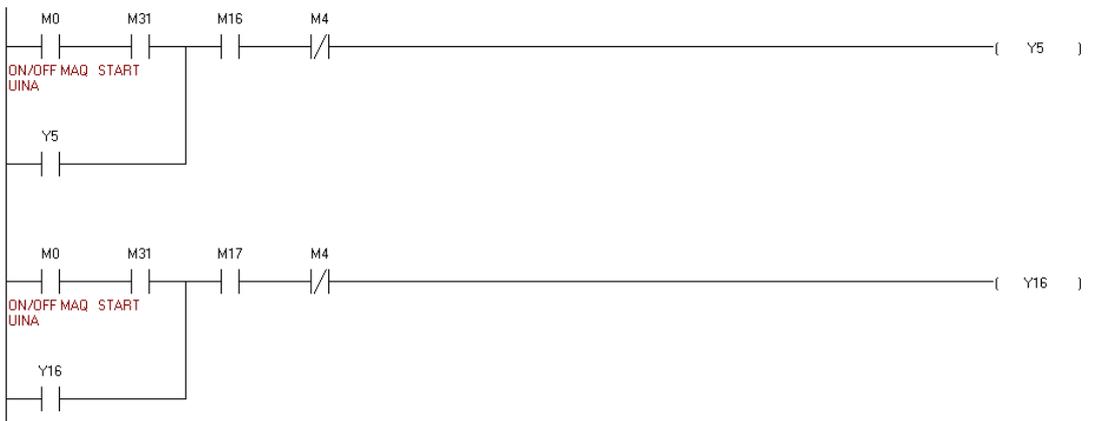
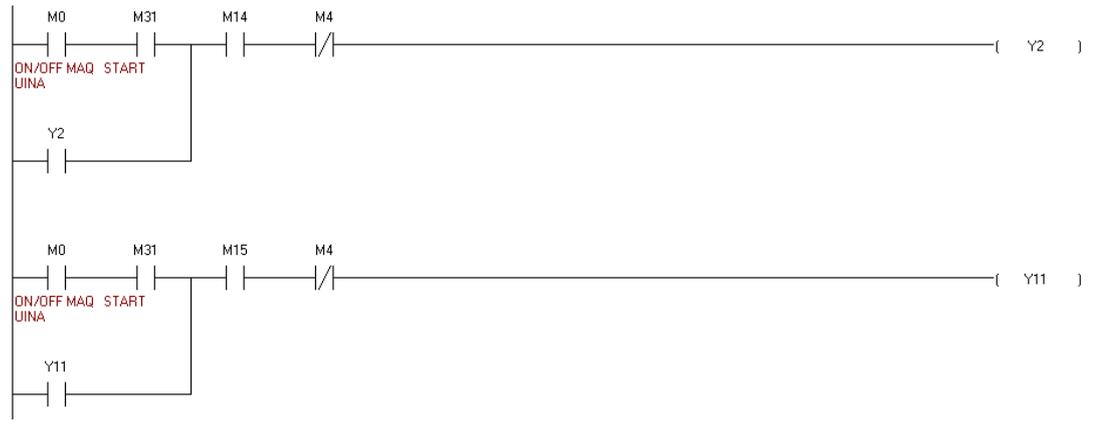
Circuito de fuerza completo de motores, bombas y turbinas, Elaborado por: Andrés Pachacama

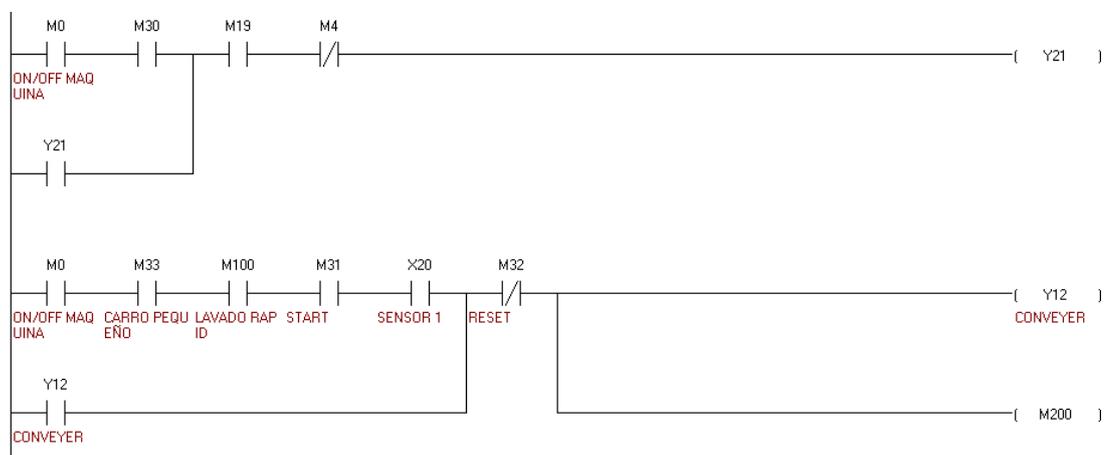
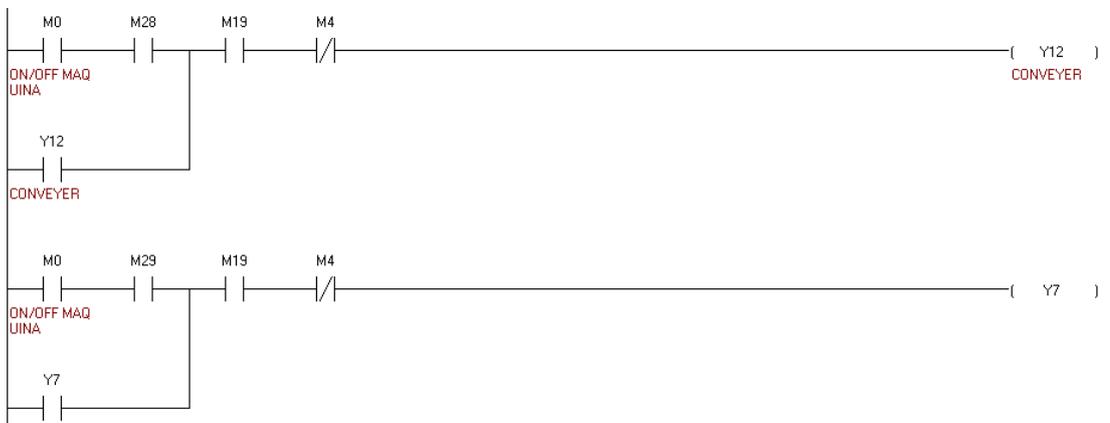
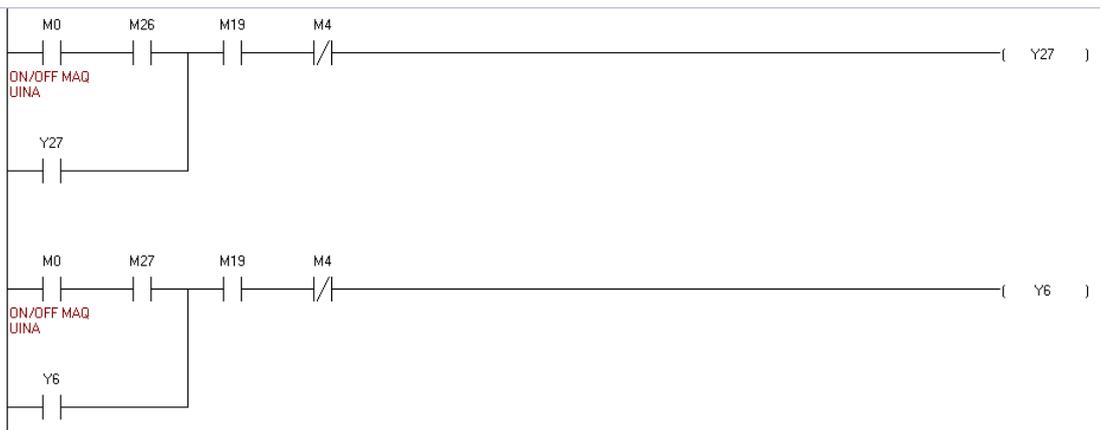
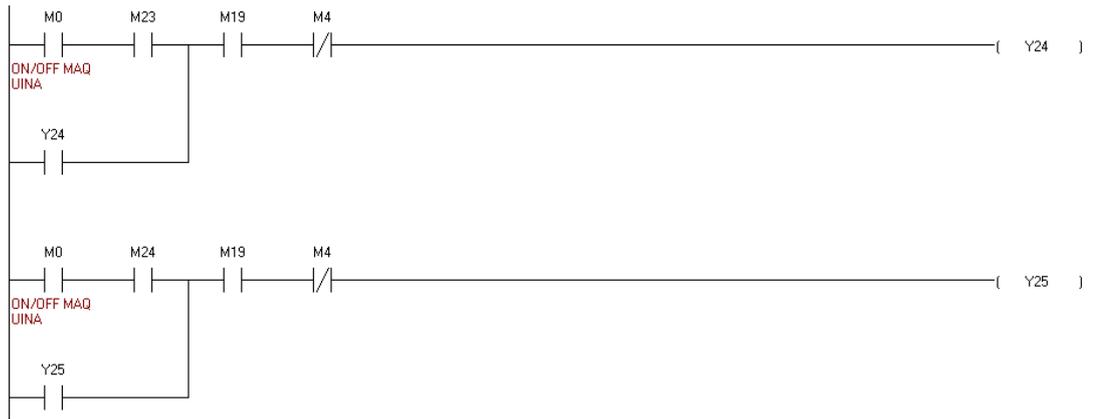


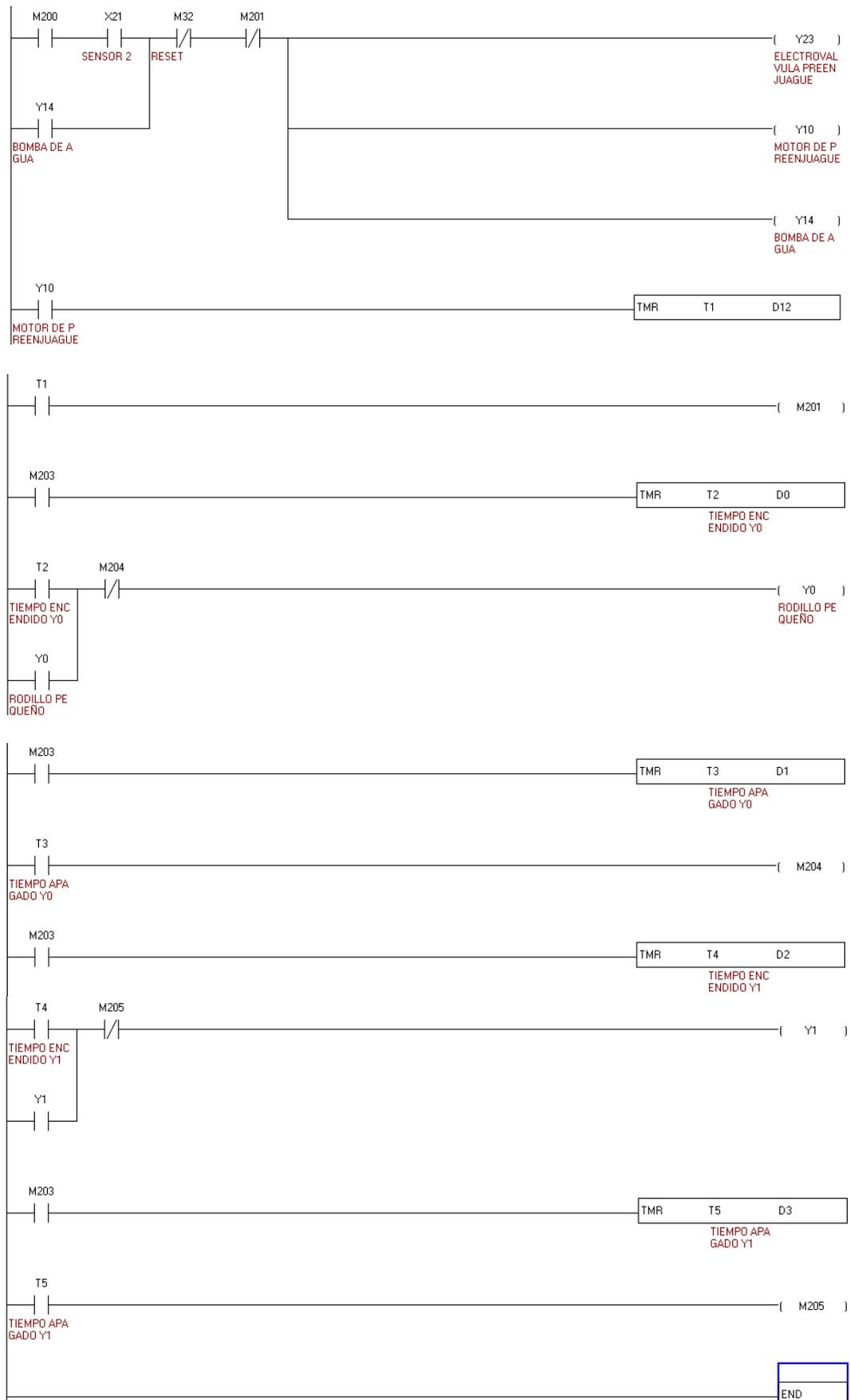
Circuito de fuerza completo de motores, bombas y turbinas, Elaborado por: Andrés Pachacama

Anexo 5: Programación del PLC









Programación del PLC, Elaborado por: Andrés Pachacama